



**Sebastião Filipe
Costa Ribeiro**

**Soluções de Reabilitação – Grampeamento de
Paredes de Alvenaria**



**Sebastião Filipe
Costa Ribeiro**

**Soluções de Reabilitação – Grampeamento de
Paredes de Alvenaria**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob a orientação científica do Prof. Doutor Romeu da Silva Vicente, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, e co-orientação do Prof. Doutor Humberto Salazar Amorim Varum, Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.

Dedico este trabalho aos meus pais e irmã pelo apoio e incentivo

o júri

presidente

Prof. Doutor Carlos Daniel Borges Coelho

Professor auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor José António Raimundo Mendes da Silva

Professor associado do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Prof. Doutor Romeu da Silva Vicente

Professor auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Humberto Salazar Amorim Varum

Professor associado do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Gostava de deixar uma palavra de apreço e gratidão:

Ao meu orientador, Professor Doutor Romeu Vicente, pela sua paciência, disponibilidade, incentivo e ensinamentos prestados, bem como pela amizade demonstrada durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu co-orientador Humberto Varum por todas as suas sugestões e orientações.

Ao engenheiro João Graça pela sua disponibilidade e apoio prestado na realização deste trabalho.

Ao Bruno Lobo por toda a sua ajuda e sugestões prestadas ao longo do desenvolvimento da campanha experimental.

À HELIFIX[®] pelo fornecimento de todo o material necessário à aplicação dos sistemas de grampeamento pós-construção, assim como à fábrica PRECERAM NORTE[®], pelo fornecimento do material para a preparação dos provetes.

Ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro pelas condições disponibilizadas.

À equipa do laboratório, Vitor Rodrigues e Engenheira Maria Carlos pelo apoio prestado na preparação dos provetes e realização de ensaios.

A todos os meus amigos que me acompanharam e motivaram ao longo deste percurso académico, em particular Rodrigo Carvalho, Élio Maia, Rui Grangeia, Rui Oliveira, Flávio Meneses, Paulo Ferreira e Fábio Silva.

E por último à minha família, em especial aos meus pais Sebastião e Isaura e à minha irmã Catarina que sempre me apoiaram e deram força para que nunca baixasse os braços e seguisse em frente nesta longa caminhada.

palavras-chave

Reabilitação de edifícios, instabilidade, paredes de alvenaria, reforço, grampeamento pós-construção

resumo

Milhares de metros quadrados de parede de envolvente externa apresentam problemas de fissuração e instabilidade devido a deficientes e incorrectas condições de apoio do pano exterior. Definiu-se uma campanha experimental para avaliar a eficiência de técnicas de intervenção usadas na reabilitação de fachadas de edifícios em alvenaria de tijolo corrente, especificamente o grampeamento pós-construção (*Dryfix* e *CemenTie* da HELIFIX®).

Numa primeira campanha realizaram-se ensaios em 120 provetes isolados, preparados com recurso a tijolos novos e a tijolos velhos, isto é, tijolos que já tenham estado expostos a diferentes ciclos de temperatura e humidade e que desta forma já não possuam a integridade das suas características iniciais. Realizou-se uma segunda campanha em provetes-parede com as dimensões de 1,20x1,20m, com o intuito de representar a situação real onde se aplicaram as duas técnicas de grampeamento pós-construção e se efetuaram ensaios de arranque.

Assim os objectivos deste trabalho são: i) avaliar as técnicas de reforço em ambiente laboratorial; ii) avaliar a eficiência das soluções em provetes de tijolos novos e de tijolos velhos; iii) avaliar a influência da execução das várias técnicas (forma de colocação das camisas, injeção do *grout*) sobre os resultados de ensaios de arranque; iv) descrever e catalogar os tipos de rotura e o comportamento de ambas as técnicas.

Os resultados de ambas as técnicas são exaustivamente apresentados e discutidos. Neste trabalho verificou-se que a técnica *CemenTie* é mais eficaz do que a técnica *Dryfix*, no entanto ambas apresentam resultados compatíveis com a resistência mecânica pretendida.

Finalmente é sistematizado um conjunto de conclusões importantes acerca destas técnicas, nomeadamente do protocolo e controlo de qualidade de execução da técnica, bem como a identificação de medidas de melhoria.

keywords

Rehabilitation of buildings, instability, masonry walls, retrofitting, remedial wall ties

abstract

Thousands of square meters of external masonry enclosure walls present problems of cracking and instability due to incorrect and deficient support conditions of the outer leaf of double leaf wall solutions. An experimental campaign was defined to evaluate the effectiveness of post remedial wall ties as an intervention technique (*CemenTie* and *Dryfix* from HELIFIX®) used in the retrofitting of hollowed fired clay brick masonry building facades.

A first campaign in order to carry out tests on 120 isolated specimens resorting to new clay bricks and aged bricks, (bricks exposed to different moisture and temperature cycles) which no longer have their initial characteristics. A second campaign was carried out over wallettes built with dimensions of 1.20 by 1.20 m in order to represent a more realistic situation and evaluate slippage effect of the retrofitting solutions.

Thus, this experimental work aimed to: i) assess the retrofitting technique in laboratorial environment, ii) to evaluate the efficiency of the retrofitting solution on specimens constituted by new and aged clay bricks, iii) evaluate the influence of different features of the retrofitting technique (sleeve introduction and grout injection) over the pull-out test results, iv) describe and catalogue the types of failure and behavior of both techniques.

All results for both retrofitting techniques are thoroughly presented and discussed. In the scope of this research work it was found that the *CemenTie* technique is more effective than the *Dryfix*, however both attained results consistent with the desired mechanical strength.

Finally, a set of important conclusions, including improvement measures of the protocol and quality control of the retrofitting technique are identified.

Índice geral

Índice de figuras	v
Índice de tabelas	ix
Lista de Símbolos	xi
1. Introdução	3
1.1. Introdução	3
1.2. Objectivos	4
1.3. Estrutura da dissertação	4
2. Paredes de alvenaria dupla e anomalias. Técnicas de reforço e reabilitação de alvenarias	9
2.1. Paredes de alvenaria dupla e anomalias	9
2.2. Técnicas de reforço e reabilitação de alvenarias	11
2.2.1. Grampeamento pós-construção	11
2.2.1.1. Sistemas de fixação	11
2.2.1.2. Sistema <i>Dryfix</i> e sistema <i>CemenTie</i>	12
2.2.1.3. Sistema <i>Dryfix</i> – Material e modo de execução	13
2.2.1.4. Sistema <i>CemenTie</i> – Material e modo de execução	14
2.2.2. Exemplos de aplicação	16
3. Caracterização dos tijolos	21
3.1. Aspetos gerais	21
3.2. Caracterização geométrica	22
3.3. Resistência mecânica	24
4. Primeira campanha experimental	33
4.1. Aspetos gerais	33
4.2. Preparação dos provetes isolados	34
4.3. Preparação dos provetes-parede	35
4.3.1. Processo construtivo das paredes	36
4.3.2. Caracterização da argamassa de assentamento	38
4.3.2.1. Resistência à flexão	38
4.3.2.2. Resistência à compressão	41
4.3.3. Caracterização da argamassa de reboco	43
4.3.3.1. Resistência à flexão	43

4.3.3.2. Resistência à compressão	44
4.4. Aplicação dos sistemas de grampeamento pós-construção nos provetes isolados ...	45
4.4.1. Sistema <i>Dryfix</i>	45
4.4.2. Sistema <i>CemenTie</i>	46
4.5. Aplicação dos sistemas de grampeamento pós-construção nos provetes-parede	48
4.6. Ensaaios de arranque	49
4.6.1. Ensaaios de arranque nos provetes isolados	50
4.6.2. Ensaaios de arranque nos provetes-parede	51
5. Resultados da primeira campanha experimental	55
5.1. Enquadramento	55
5.2. Sistema de grampeamento pós-construção – <i>Dryfix</i>	57
5.2.1. Comparação dos provetes de tijolo isolados	57
5.2.2. Comparação dos provetes isolados com o provete-parede	60
5.2.2.1. Tijolos velhos	60
5.2.2.2. Tijolos novos	62
5.2.3. Relação da força de arranque com a tensão de compressão nos tijolos de formato 30x20x11	63
5.2.4. Relação da força de arranque com a tensão de compressão nos tijolos de formato 30x20x15	64
5.2.5. Tipos de rotura	66
5.3. Sistema de grampeamento pós-construção – <i>CemenTie</i>	66
5.3.1. Tipos de rotura	66
5.3.2. Comparação dos provetes de tijolo isolados	67
5.3.3. Comparação dos provetes isolados com o provete-parede	71
5.3.3.1. Tijolos velhos	71
5.3.3.2. Tijolos novos	72
5.3.4. Relação da força de arranque com a tensão de compressão nos tijolos de formato 30x20x11	74
5.3.5. Relação da força de arranque com a tensão de compressão nos tijolos de formato 30x20x15	75
6. Segunda campanha experimental	79
6.1. Enquadramento	79
6.2. Preparação dos provetes	79
6.3. Aplicação do sistema de grampeamento pós-construção <i>CemenTie</i>	80
6.4. Ensaaios de arranque	81

6.5.	Resultados da segunda campanha experimental.....	83
6.5.1.	Provetes de tijolos novos	84
6.5.2.	Provetes de tijolos velhos	89
6.6.	Controlo de qualidade das soluções.....	95
7.	Conclusões.....	101
7.1.	Síntese do trabalho realizado	101
7.2.	Considerações finais	101
7.2.1.	Ensaio e caracterização de materiais	101
7.2.2.	Aplicação da técnica de grampeamento pós-construção	102
7.2.3.	Resultados da primeira campanha de ensaios - <i>DRYFIX</i>	102
7.2.4.	Resultados da primeira campanha de ensaios - <i>CEMENTIE</i>	103
7.2.5.	Resultados da segunda campanha experimental de ensaios	104
7.2.6.	Controlo de qualidade.....	105
7.2.7.	Comentário final	106
7.3.	Propostas futuras de desenvolvimento	106
	Referências bibliográficas	111

Índice de figuras

Figura 1 – Anomalias em paredes de alvenaria: a) fissuração a meia altura dos pisos (Coutinho, 2011); b) fissuração horizontal acentuada; c) instabilidade global do painel	10
Figura 2 – Sistema <i>Dryfix</i> (HELIFIX, 2008)	14
Figura 3 - Aplicação do sistema de grampeamento pós-construção <i>Dryfix</i> (Coutinho, 2011)	14
Figura 4 - Sistema <i>CementTie</i> : a) Esquema (HELIFIX, 2008); b) Exemplo real	15
Figura 5 - Aplicação do sistema de grampeamento pós-construção <i>CementTie</i> (Coutinho, 2011)	15
Figura 6 – Exemplos de aplicação: a) IBILI; b) Empreendimento do Meilão (Coutinho, 2011); c) ISQ (Coutinho, 2011)	16
Figura 7 – Sequência das operações na execução do grampeamento pós-construção	17
Figura 8 – Distribuição dos grampos num painel de alvenaria com vãos (Silva <i>et al.</i> , 2003)	18
Figura 9 – Tijolo Novo: a) Formato 30x20x11; b) Formato 30x20x15	21
Figura 10 – Tijolo Velho: a) Formato 30x20x11; b) Formato 30x20x15	21
Figura 11 – Anomalias dos provetes: a) Perda de material no provete 1; b) Fissuração transversal nos provetes 3,5 e 6	25
Figura 12 – Nivelamento dos tijolos	25
Figura 13 – Cofragem dos tijolos	26
Figura 14 – Descofragem dos tijolos: a) Cofragem; b) Descofragem; c) Superfície Regular	26
Figura 15 - Equipamento para o ensaio de compressão	26
Figura 16 – Tipos de rotura	29
Figura 17 – Identificação dos pontos de ensaio	34
Figura 18 – Preparação dos provetes isolados (1)	35
Figura 19 – Preparação dos provetes isolados (2)	35
Figura 20 – Esquema dos provetes isolados	35
Figura 21 – Molhagem prévia dos tijolos	36
Figura 22 – Utilização de um fio e um tripé para garantir a horizontalidade e o aprumo	37
Figura 23 – Preenchimento das juntas verticais	37
Figura 24 – Chapisco das paredes	38
Figura 25 – Reboco das paredes	38
Figura 26 – Provetes de argamassa	39

Figura 27 – Máquina Universal de Ensaios.....	39
Figura 28 – Ensaio à flexão: a) Ensaio real; b) Esquema do ensaio	40
Figura 29 – Provetes de argamassa	41
Figura 30 – Ensaio à compressão: a) Ensaio real; b) Esquema do ensaio	42
Figura 31 – Processo de execução do sistema <i>Dryfix</i>	45
Figura 32 – Adaptador para cravação	46
Figura 33 - Processo de execução do sistema <i>CementTie</i>	47
Figura 34 – Preparação do <i>grout</i> : a) Mistura; b) Colocação na pistola de enchimento	48
Figura 35 – Marcação prévia da grelha com os pontos de furação	49
Figura 36 – Disposição dos sistemas na parede	49
Figura 37 - Aparelhos de Ensaio: a) Dinamómetro de 3kN; b) Dinamómetro de 16kN	50
Figura 38 – Bancada e equipamento de ensaio	51
Figura 39 – Ensaio com o dinamómetro de 3kN nos provetes isolados.....	51
Figura 40 – Ensaio nos provetes-parede: a) Dinamómetro de 3kN; b) Dinamómetro de 16kN	52
Figura 41 – Sinais de fragilização dos tijolos antes dos ensaios	56
Figura 42 – Força de arranque em provetes de tijolos velhos e tijolos novos – Sistema <i>DRYFIX</i>	59
Figura 43 – Força de arranque nos provetes isolados e no provete-parede – Sistema <i>DRYFIX</i>	61
Figura 44 – Forçade arranque nos provetes isolados e no provete-parede – Sistema <i>DRYFIX</i>	63
Figura 45 – Relação da força de arranque com a tensão de compressão – Sistema <i>DRYFIX</i>	64
Figura 46 – Relação da Força de Arranque com a Tensão de Compressão – Sistema <i>DRYFIX</i>	65
Figura 47 – Tipos de rotura: a) Rotura Frágil; b) Rotura por escorregamento do varão; c) Rotura geral	67
Figura 48 – Força de arranque em provetes de tijolos velhos e tijolos novos – Sistema <i>CEMENTIE</i>	70
Figura 49 – Força de arranque nos provetes isolados e no provete-parede – Sistema <i>CEMENTIE</i>	72
Figura 50 – Força de arranque nos provetes isolados e no provete-parede – Sistema <i>CEMENTIE</i>	73
Figura 51 – Relação da força de arranque com a tensão de compressão – Sistema <i>CEMENTIE</i>	74
Figura 52 – Relação da força de arranque com a tensão de compressão – Sistema <i>CEMENTIE</i>	75
Figura 53 – Calços de betão	79
Figura 54 – Montagem em linha dos provetes isolados	80
Figura 55 – Estrutura final dos provetes isolados	80
Figura 56 – Alteração da segunda camisa de enchimento: a) Antes; b) Depois.....	81

Figura 57 – Atuador hidráulico de 300kN com célula de carga de 25kN.....	82
Figura 58 – Garras metálicas e peça de aço para agarrar os varões.....	82
Figura 59 – Fixação do actuador hidráulico	82
Figura 60 – <i>Setup</i> do ensaio de arranque	82
Figura 61 – Esquema representativo do modelo de ensaio.....	83
Figura 62 – Resultados dos provetes de tijolo novo – Grupo 1	84
Figura 63 – Desprendimento do varão da camisa inserida no tijolo de formato 30x20x11	85
Figura 64 – Resultados dos provetes de tijolo novo – Grupo 2	86
Figura 65 – Escorregamento das camisas no tijolo: a) Escorregamento da camisa inserida no tijolo de formato 30x20x11; b) Escorregamento da camisa inserida no tijolo de formato 30x20x15	87
Figura 66 – Resultados dos provetes de tijolo novo – Grupo 3	87
Figura 67 – Formação regular e uniforme dos bolbos de <i>grout</i>	88
Figura 68 – Resultados dos provetes de tijolo velho – Grupo 1 (...).....	90
Figura 69 – Escorregamento do varão nas camisas: a) Observação durante o ensaio; b) Observação após o ensaio.....	92
Figura 70 – Resultados dos provetes de tijolo velho – Grupo 2	93
Figura 71 – Rotura Frágil: a) Rotura do tijolo de formato 30x20x11; b) Rotura do tijolo de formato 30x20x15	94
Figura 72 – Deficiência das camisas de enchimento (observação após-ensaio)	96
Figura 73 – Bolbos regulares e uniformes: a) Bolbo da camisa inserida no tijolo de formato 30x20x11; b) Bolbo da camisa inserida no tijolo de formato 30x20x15	96

Índice de tabelas

Tabela 1 – Sistemas de fixação e suas aplicações	12
Tabela 2 - Sistema <i>Dryfix</i> (HELIFIX, 2008)	12
Tabela 3 - Sistema <i>CemenTie</i> (HELIFIX, 2008)	13
Tabela 4 – Caracterização geométrica do tijolo de formato 30x20x11 novo	22
Tabela 5 – Caracterização geométrica do tijolo de formato 30x20x15 novo	23
Tabela 6 – Caracterização geométrica do tijolo de formato 30x20x11 velho.....	23
Tabela 7 - Caracterização geométrica do tijolo de formato 30x20x15 velho	23
Tabela 8 – Dimensões máximas e mínimas para os vários formatos de tijolos	24
Tabela 9 – Resultados da tensão de rotura em compressão do tijolo de formato 30x20x15 novo.....	27
Tabela 10 – Resultados da tensão de rotura em compressão do tijolo de formato 30x20x15 velho	27
Tabela 11 - Resultados da tensão de rotura em compressão do tijolo de formato 30x20x11 novo	28
Tabela 12 – Resultados da tensão de rotura em compressão do tijolo de formato 30x20x11 velho	28
Tabela 13 – Resultados do ensaio à flexão dos provetes de argamassa de assentamento dos tijolos novos.....	40
Tabela 14 – Resultados do ensaio à flexão dos provetes de argamassa de assentamento dos tijolos velhos.....	41
Tabela 15– Resultados do ensaio à compressão dos provetes de argamassa de assentamento dos tijolos novos..	42
Tabela 16– Resultados do ensaio à compressão dos provetes de argamassa de assentamento dos tijolos velhos..	42
Tabela 17 – Resultados do ensaio à flexão da argamassa de reboco	44
Tabela 18 – Resultados do ensaio de compressão à argamassa de reboco	44
Tabela 19 – Resultados dos provetes isolados de tijolo velho com sistema <i>DRYFIX</i> (...).....	57
Tabela 20 - Resultados dos provetes isolados de tijolo novo com sistema <i>DRYFIX</i> (...)	58
Tabela 21 – Resultados do provete-parede de tijolo velho – Sistema <i>DRYFIX</i>	60
Tabela 22 - Resultados do provete-parede de tijolo novo – Sistema <i>DRYFIX</i>	62
Tabela 23 – Resultados dos provetes isolados de tijolo velho com sistema <i>CEMENTIE</i> (...).....	67
Tabela 24 – Resultados dos provetes isolados de tijolo novo com sistema <i>CEMENTIE</i> (...).....	69
Tabela 25 – Resultados do provete-parede de tijolo velho – Sistema <i>CEMENTIE</i>	71
Tabela 26 - Resultados do provete-parede de tijolo novo – Sistema <i>CEMENTIE</i>	73
Tabela 27 – Síntese dos resultados obtidos para os provetes isolados de tijolo novo	89
Tabela 28 – Síntese dos resultados obtidos para os provetes isolados de tijolo velho.....	94

Lista de Símbolos

A	– Secção transversal carregada
b	– Largura do provete
c_v	– Coeficiente de variação
d	– Espessura do provete
D_y	– Deslocamento associado à cedência teórica
D_u	– Deslocamento máximo correspondente à rotura teórica
F	– Força máxima aplicada
F_m	– Força máxima obtida
f	– Tensão de rotura à flexão
f_a	– Força de arranque
$f_{a\text{ máx.}}$	– Força de arranque máxima
l	– Distância entre eixos de apoio
ε	– Desvio Padrão
σ_c	– Tensão de rotura em compressão
σ_m	– Tensão de rotura média em compressão
μ	– Fator de ductilidade

Capítulo 1

Introdução

1. Introdução

- 1.1. Enquadramento
- 1.2. Objetivos
- 1.3. Estrutura da dissertação

1. INTRODUÇÃO

1.1.Introdução

As alvenarias de tijolo de furação horizontal têm sido e ainda são a solução construtiva mais utilizada para a construção de paredes de envolvente (Sousa, 2002). Estas têm sido introduzidas na nossa sociedade com a função de substituir as tradicionais paredes de pedra. As paredes de alvenaria de tijolo cerâmico de barro vermelho são usadas nomeadamente para efetuar as divisões do espaço interior através de paredes simples e para realizar a envolvente exterior através de paredes duplas ou simples com intuito de estabelecer a fronteira entre o interior e o exterior.

Em Portugal, os projectos de alvenaria são inexistentes, motivo pelo qual as paredes de alvenaria caem para segundo plano, apesar destas terem um papel fundamental no comportamento global dos edifícios devido às exigências funcionais a que estão sujeitas a fazer respeitar e cumprir.

Apesar da sua reconhecida importância, as paredes de alvenaria nunca foram alvo de grandes cuidados nas fases de conceção, preparação ou execução.

Na ausência de projeto para as alvenarias, é indispensável que não se perca de vista uma série de aspetos para que estas se possam executar da melhor maneira possível, destacando-se os seguintes (Dias, 2009):

- Quantificação global dos trabalhos;
- Programação da sequência e duração das diversas tarefas;
- Avaliação dos meios necessários;
- Avaliação das exigências funcionais e sua compatibilização;
- Definição das equipas de trabalho e sua qualificação;
- Definição dos instrumentos de previsão e controlo da produtividade e custos;
- Definição de procedimentos de controlo de qualidade.

Nos últimos anos as alvenarias têm sido alvo de uma atenção crescente, ainda que, os resultados não sejam muito visíveis na sua *performance* final. Neste contexto, tem-se tentado implementar melhorias a nível da legislação, da certificação de produtos e soluções, na investigação e na criação de ferramentas técnicas (Silva e Abrantes, 2007).

É comum em Portugal, com o intuito de combater as patologias associadas às pontes térmicas nos nós estruturais e nos topos da laje usar técnicas de correcção pelo exterior com apoio parcial do pano de parede sobre a laje (Vicente e Silva, 2003; Vicente e Silva, 2007). Estas situações levam a fragilizações locais e em alguns casos o uso destas técnicas de correcção leva a que grandes panos de alvenaria associados à ausência de confinamento horizontal, ausência de grampeamento e fenómenos de expansão do tijolo conduzam a problemas de fissuração dos cunhais, separação entre os panos nas ombreiras e ainda fissuração grave ao nível das lajes (Silva, *et al* 2001) e instabilidade grave em casos extremos.

É com intuito de combater estes problemas que surge a necessidade de efetuar intervenções de reabilitação, sendo de destacar por exemplo, o grampeamento pós-construção como uma solução pouco intrusiva e economicamente viável para a resolução destes problemas.

1.2.Objectivos

Com a elaboração desta dissertação pretende-se essencialmente avaliar as técnicas de reforço *Dryfix* e *CemenTie* em ambiente laboratorial, avaliando a sua eficiência (força de arranque) em provetes isolados e em provetes-parede realizados com tijolos novos e tijolos velhos, simulando uma parede existente. É ainda objectivo desta dissertação avaliar a influência da execução das técnicas de reforço (forma de colocação das camisas, injeção do *grout* e formação dos bolbos) no comportamento dos provetes durante os ensaios e por último, compreender os tipos de rotura e ductilidade oferecida por estas soluções de reforço.

1.3.Estrutura da dissertação

Esta dissertação encontra-se dividida em sete capítulos e diversos subcapítulos. O presente capítulo contém a introdução, que engloba um pequeno enquadramento e os objectivos principais desta dissertação.

No capítulo 2 abordam-se algumas das anomalias que podem surgir em paredes de alvenaria de tijolo e são apresentadas as técnicas de reforço e reabilitação de alvenarias, mais concretamente, as técnicas de grampeamento pós-construção.

No capítulo 3, é feita a caracterização geométrica e a determinação da resistência mecânica através de ensaios de compressão dos tijolos, por forma a conhecer melhor as características do material que constitui os provetes.

O capítulo 4 aborda a primeira campanha experimental, em que se faz referência à preparação dos provetes isolados e dos provetes-parede, apresentam-se as etapas da aplicação das duas técnicas de grampeamento pós-construção, *Dryfix* e *CemenTie*, e por último indicam-se os ensaios de arranque efetuados.

No capítulo 5 apresentam-se os resultados obtidos ao longo da primeira campanha experimental.

O capítulo 6 incide sobre a segunda campanha experimental, onde se faz referência à preparação dos provetes, à aplicação da técnica de grampeamento pós-construção *CemenTie*, aos ensaios de arranque e por último apresentam-se os resultados obtidos.

No capítulo 7 enunciam-se as principais conclusões e identificam-se propostas de trabalhos futuros.

Capítulo 2

Paredes de alvenaria dupla e anomalias. Técnicas de reforço e reabilitação de alvenarias

2 Paredes de alvenaria dupla e anomalias. Técnicas de reforço e reabilitação de alvenarias

- 2.1. Paredes de alvenaria dupla e anomalias
- 2.2. Técnicas de reforço e reabilitação de alvenarias
 - 2.2.1. Grampeamento pós-construção
 - 2.2.1.1. Sistemas de fixação
 - 2.2.1.2. Sistema *Dryfix* e sistema *CemenTie*
 - 2.2.1.3. Sistema *Dryfix* – Material e modo de execução
 - 2.2.1.4. Sistema *CemenTie* – Material e modo de execução
 - 2.2.2. Exemplos de aplicação

2. PAREDES DE ALVENARIA DUPLA E ANOMALIAS. TÉCNICAS DE REFORÇO E REABILITAÇÃO DE ALVENARIAS

2.1. Paredes de alvenaria dupla e anomalias

Nos nossos dias, as paredes duplas são muito utilizadas para a construção da envolvente exterior, e são portanto formadas por dois panos de alvenaria e uma caixa de ar. As paredes duplas podem apresentar espessuras variáveis, pois podem ser feitas com várias combinações de tijolo, desde 11cm+7cm, que é pouco recomendável até 22cm+15cm (Silva e Vicente, 2001)

É de salientar algumas das vantagens que as paredes duplas possuem:

- Ambas as paredes colaboram para a resistência a ações horizontais desde que estas estejam bem ligadas;
- As paredes duplas permitem minimizar as pontes térmicas;
- Quando colocado na caixa de ar, o isolamento fica protegido.

Não descurando o seu bom desempenho, importa ainda acrescentar que, também surgem nas paredes de alvenaria de tijolo algumas anomalias associadas a várias causas e de diversas naturezas. As mais suscetíveis de aparecer são a fissuração (Figura 1 – a e b), o esmagamento, a instabilidade das paredes (Figura 1 – c), a degradação das características mecânicas e a ausência de grampeamento em paredes duplas (Vicente, 2002)

Dando um pouco mais de atenção às fissuras, e não pretendendo ser exaustivo relativamente às suas causas e origens, convém especificar que estas podem surgir em diversas situações, tais como (Pereira, 2005):

- Fissuras causadas por movimentos térmicos - como na construção se está sujeito a variações de temperatura diárias e sazonais, estas vão influenciar o comportamento dos materiais, provocando desta forma dilatação ou contração. Os movimentos de dilatação ou contração vão fazer com que se desenvolvam tensões nos materiais, podendo estas provocar aparecimento de fissuras.
- Fissuras causadas por movimentos de origem higroscópica – como se sabe os materiais porosos sofrem variações das suas dimensões devido às mudanças higroscópicas, existindo portanto uma expansão devido ao aumento do teor em

humidade e uma contração devido à diminuição. Se existir restrição a esses movimentos de expansão e retração irão surgir fissuras nos elementos e componentes da construção.

- Fissuras causadas por deformação excessiva da estrutura de suporte – apesar de ser aceitável que os elementos de suporte, como vigas e pilares apresentem deformações, é preciso uma especial atenção a essas deformações quando estes elementos estão em contacto com as alvenarias, pois as deformações desses elementos não vão ser acompanhadas pelas alvenarias o que vai provocar fissuração nas paredes.

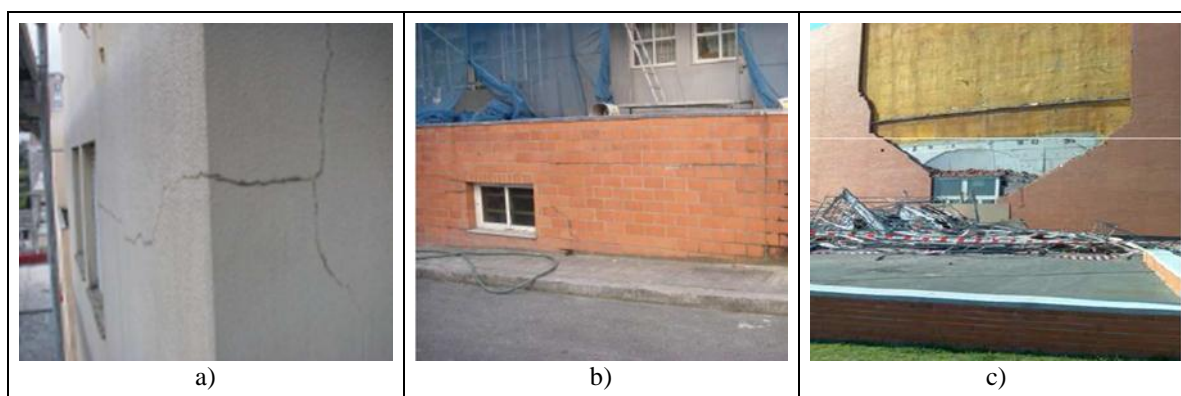


Figura 1 – Anomalias em paredes de alvenaria: a) fissuração a meia altura dos pisos (Coutinho, 2011); b) fissuração horizontal acentuada; c) instabilidade global do painel

As causas das anomalias apresentadas podem ter várias origens, nomeadamente, erros de projeto, erros de execução, ações ambientais ou ainda falhas na manutenção.

Relativamente aos erros de projeto, estes acontecem por falta de conhecimentos dos projetistas, por falta de informação ou ainda devido ao facto do projetista não ter qualquer preocupação se as deformações regulamentares admissíveis para a estrutura vão ou não provocar anomalias, a única preocupação dele é saber o peso das alvenarias para quantificar a ação na estrutura. É ainda de referir que também o arquiteto não se preocupa com a esbelteza das paredes de alvenaria, pois o que ele pretende é que estas possuam a menor espessura possível de modo a possibilitar a obtenção de uma maior área útil em cada compartimento (Pereira, 2005).

Já no que diz respeito aos erros de execução, estes podem ter várias naturezas, sendo de destacar a interpretação errada do projeto, utilização de tecnologia menos apropriada ou a mão-de-obra pouco qualificada (Gonçalves, *et al*, 2008). A título de exemplo, podem-se destacar alguns erros mais frequentes durante a fase de execução e que provocam o aparecimento de fissuras e causam a instabilidade da alvenaria, tais como: a incorreta ligação

das paredes de alvenaria aos elementos de betão ou a própria ligação entre os dois panos em caso de paredes duplas, a aplicação de elementos metálicos sem proteção contra a corrosão, como por exemplo, grampos e armaduras, a esbelteza dos panos, o apoio reduzido do pano exterior e ainda a falta de travamento ou confinamento da parede (Hendry *et al*, 1997).

Quanto às ações ambientais, é preciso ter vários cuidados, nomeadamente na escolha dos materiais e técnicas construtivas. Desta forma a escolha dos materiais torna-se importante uma vez que devido às variações da temperatura vão sofrer dilatações e contrações, fazendo com que sejam criadas tensões nas paredes e nas ligações a outros elementos (Silva, 2002).

Como é do conhecimento geral, nos últimos anos tem aumentado a preocupação relativamente ao combate às anomalias nas paredes de alvenaria de tijolo, merecendo algum destaque a fissuração e a instabilidade dos panos de alvenaria. Neste âmbito, a procura de novas soluções tem sido permanente pelo que se tem vindo a adotar em obra soluções como o grampeamento pós-construção de paredes, utilização de armaduras de reforço e reconstrução de cunhais. O grampeamento pós-construção é um sistema cada vez mais utilizado e que pode ser efetuado de várias formas e através de vários métodos distintos. De seguida apresentam-se os vários métodos de grampeamento pós-construção, sendo contudo dada maior relevância a dois deles, o *Dryfix* e *CemenTie* da HELIFIX®.

2.2. Técnicas de reforço e reabilitação de alvenarias

2.2.1. Grampeamento pós-construção

O grampeamento metálico pós-construção é uma solução de reabilitação aplicada a alvenaria de paredes duplas já construídas, com o objetivo da sua estabilização, quando se pretende reforçar ou até substituir grampos pré-existentes (Silva, *et al*, 2003). Sendo assim é um método que vai contribuir para o aumento da estabilidade dos dois panos da parede quando esta apresenta problemas mecânicos e é ainda muito útil no combate à fissuração em paredes de alvenaria.

2.2.1.1. Sistemas de fixação

De entre os vários sistemas de fixação que existem, os mais conhecidos são os da empresa HELIFIX®, os quais se apresentam na Tabela 1:

Tabela 1 – Sistemas de fixação e suas aplicações

Técnica	Aplicação
<i>Dryfix</i>	Ligação de alvenaria a suporte de betão Ligação entre dois panos de alvenaria
<i>RetroTie</i>	Aplicação versátil em paredes, a seco ou com resina
<i>ResiTie</i>	Função principal – correção
<i>CemTie</i>	Estabilização de alvenaria com <i>grout</i> cimentício Ideal para a ligação de panos interiores e exteriores de alvenaria tripla Reforço de arcos em alvenaria
<i>CemenTie</i>	Ligação de dois panos de alvenaria usando <i>grouts</i>
<i>BowTie</i>	Ligação de alvenarias a pavimentos e coberturas

2.2.1.2. Sistema *Dryfix* e sistema *CemenTie*

Dos vários sistemas de grampeamento pós-construção será dada maior relevância ao sistema *Dryfix* e ao *CemenTie*. Estes apresentam um conjunto de características e benefícios que é possível visualizar na Tabela 2 e na Tabela 3.

Tabela 2 - Sistema *Dryfix* (HELIFIX, 2008)

Principais Características:
<ul style="list-style-type: none"> • Sistema patenteado; • Seguro e sem esforços de aplicação; • Não requer resinas nem <i>grouts</i>, pois é apenas um sistema mecânico; • Extremamente rápido e de fácil aplicação; • Eficaz em tijolos, blocos, betão e madeiras; • Eficaz em cavidades, paredes sólidas e materiais ocos; • Pode ser usado independentemente da temperatura ou do ambiente.
Benefícios:
<ul style="list-style-type: none"> • Muito económico e com baixos custos de instalação; • Grande resistência à tração; • Flexível, sendo capaz de suportar os movimentos naturais do edifício; • Pode ser colocado através do isolamento, sem afetar o seu desempenho térmico; • Não deixa marcas na alvenaria; • Pouca inconveniência para os ocupantes.

Tabela 3 - Sistema *CemenTie*(HELIFIX, 2008)

Principais Características:
<ul style="list-style-type: none">• Suporta os movimentos naturais do edifício;• Capacidade de fixação da camada fina pode ser facilmente testada;• Eficaz em todos os materiais de construção;• Tirante e reboco criam uma excelente ligação.
Benefícios:
<ul style="list-style-type: none">• É económico e bastante eficaz;• Eficaz na reparação de edifícios de grande altura;• Não deixa marcas no edifício;• Pouco inconveniente para os ocupantes.

Comparando os dois sistemas, pode-se dizer que o sistema *Dryfix* é mais económico e a mão de obra necessária não é tão qualificada, realizando-se ainda um maior número de ancoragens em menos tempo, enquanto que no sistema *CemenTie*, o material é mais caro e como existe o uso de *grout* é necessário esperar pelo tempo de cura, o que torna o processo mais moroso.

Desta forma será mais conveniente aplicar o sistema *Dryfix*, recorrendo apenas ao *CemenTie* quando as condições existentes não proporcionarem a aplicação do primeiro.

2.2.1.3. Sistema *Dryfix* – Material e modo de execução

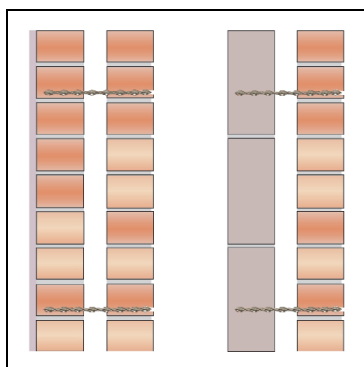
Para a aplicação deste método em obra é necessário o seguinte material e ferramentas:

- Varão helicoidal em aço inox;
- Fixação auto-roscante;
- Berbequim;
- Brocas.

O modo de execução deste método passa pelas seguintes etapas (HELIFIX, 2008):

1. Marcar o local onde se vai introduzir o varão na superfície exterior da parede;
2. Efetuar um furo com berbequim no pano exterior da parede;
3. Colocar o varão no furo utilizando um berbequim com percussão;
4. Rematar o furo com resina.

Na Figura 2 pode-se visualizar um esquema da aplicação desta técnica, enquanto que na Figura 3 é possível observar a aplicação desta técnica em obra.

Figura 2 – Sistema *Dryfix* (HELIFIX, 2008)Figura 3 - Aplicação do sistema de grampeamento pós-construção *Dryfix* (Coutinho, 2011)

2.2.1.4. Sistema *CemenTie* – Material e modo de execução

Na aplicação deste método em obra é necessário recorrer ao seguinte material e equipamentos:

- Varão helicoidal em aço inox;
- Camisa de enchimento flexível;
- *Grout* cimentício expansivo;
- Brocas;
- Berbequim;
- Aplicador com bicos de extensão.

As etapas que têm que ser seguidas serão (Coutinho, 2011):

- Marcar o local onde se vai introduzir o varão na superfície exterior da parede;
- Efetuar um furo com berbequim pelo pano exterior até ao pano interior;
- Lavar o furo efetuado com água;
- Colocar a camisa de enchimento no pano interior da parede;
- Injetar *grout* de modo a que se encha a camisa e esta expanda dentro do tijolo;
- Colocar o varão em aço inox com camisa de enchimento do pano exterior posicionada;
- Injetar *grout* até encher a camisa de enchimento do pano exterior.

Na Figura 4 – a visualiza-se um esquema da formação dos bolbos de *grout*, enquanto que na Figura 4 – b se observa um exemplo real. Já na Figura 5 são apresentadas imagens da aplicação desta técnica em obra.

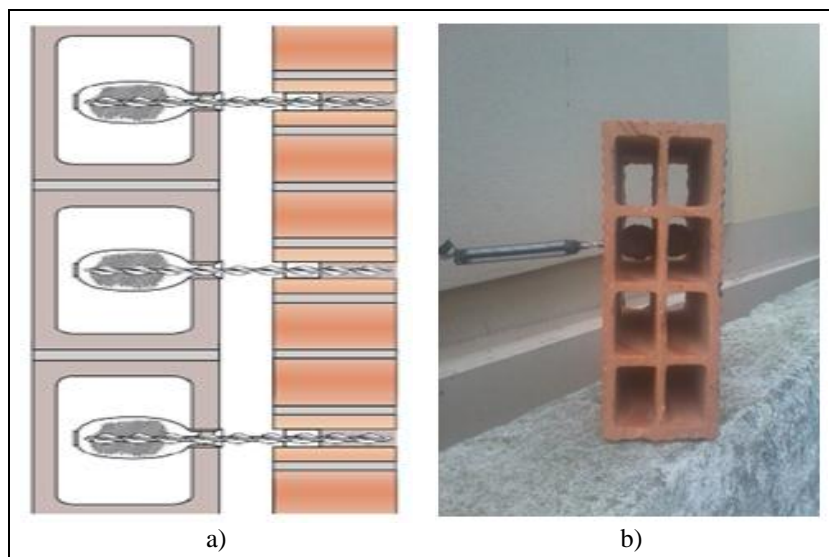


Figura 4 - Sistema *CemenTie*: a) Esquema (HELIFIX, 2008); b) Exemplo real



Figura 5 - Aplicação do sistema de grampeamento pós-construção *CemenTie* (Coutinho, 2011)

Um aspeto que é importante salientar durante a fase de introdução do *grout* diz respeito à sua quantidade. Sendo assim para controlar a quantidade de *grout* que é injetada, o que é corrente fazer- se é ensaiar prematuramente em provetes isolados o número de apertos na bomba de injeção de *grout* que é conveniente efetuar para introduzir a quantidade necessária na camisa.

Por último é ainda de referir que em ambos os métodos de grampeamento para a aprovação da solução integrada de grampeamento é necessária uma aplicação prévia de 5 grampos, a definir de acordo com a especificação técnica do fabricante para depois se efetuarem ensaios de arranque para um mínimo de 0,5kN. (Silva *et al.*, 2003)

2.2.2. Exemplos de aplicação

Nos últimos tempos, o sistema de grampeamento pós-construção tem vindo a ser utilizado com mais frequência na correção de anomalias em paredes de alvenaria de tijolo e como prova disso são as aplicações deste sistema em várias obras de reabilitação como por exemplo, no Instituto Biomédico de Investigação da Luz e da Imagem (IBILI) em Coimbra, em 2006, Figura 6 – a, no Empreendimento do Meilão em Gaia, em 2002, Figura 6 – b e no edifício ISQ em Vila Nova de Gaia, Figura 6 – c.



Figura 6 – Exemplos de aplicação: a) IBILI; b) Empreendimento do Meilão (Coutinho, 2011); c) ISQ (Coutinho, 2011)

Na obra de reabilitação do IBILI, a intervenção feita passou pela reabilitação das fachadas, que eram constituídas por dois panos de alvenaria de tijolo de formato 30x20x11, caixa de ar com 4,5cm sem isolamento e sem qualquer ligação ou grampeamento.

As principais causas associadas à fissuração das fachadas e à consequente necessidade da utilização do sistema de grampeamento pós-construção foram a grande dimensão dos panos de parede dupla (8mx3,5m), as deficientes condições de apoio, a ausência de grampeamento e a ausência de ligação entre os dois panos constituintes da parede dupla (Silva *et al.*, 2003).

O sistema que foi implementado nas fachadas teve como princípio a utilização de grampos em aço inox que foram fixados a partir do pano exterior e com fixação ao pano interior através da injeção de resinas e da utilização de camisa de enchimento (Silva *et al.*, 2003)

Os elementos e materiais que foram usados para a aplicação do sistema foram (Silva *et al.*, 2003):

- Grampos em aço inox;
- Argamassa com polímeros de fixação ao pano interior, ou resinas específicas;
- Camisa de ancoragem ao pano interior, em rede de fio inox;
- Argamassa hidráulica corrente para a ancoragem do grampo ao pano exterior;

Para que a aplicação do sistema fosse feita corretamente foi necessário seguir uma sequência de operações que se apresentam na Figura 7 (Silva *et al.*, 2003):




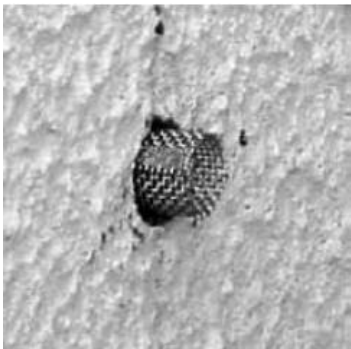


		
<p>Fase 1 – Marcação cuidadosa da posição de cada um dos grampos tendo em conta a definição do projeto de grampeamento</p>	<p>Fase 2 – Furação com berbequim de velocidade variável, sem percussão, com broca adequada e balizador de profundidade</p>	<p>Fase 3 – Limpeza do furo com ar sobre pressão, com bomba manual ou ponteira associada a compressor</p>
		
<p>Fase 4 – Colocação da camisa de enchimento</p>	<p>Fase 5 – Colocação de resina epoxi de 2 componentes, com pistola doseadora, com especial incidência no seio dos 2 panos de tijolo</p>	<p>Fase 6 – Colocação do grampo roscante de aço inox, aplicado lentamente com movimentos de rotação</p>

Figura 7 – Sequência das operações na execução do grampeamento pós-construção

Na Figura 8 é possível observar a distribuição de grampos que foi feita na fachada, verifica-se a presença de 2 a 3 grampos por metro quadrado e é ainda possível observar que o grampeamento em zonas de aberturas é mais denso, pois estes são locais mais vulneráveis.

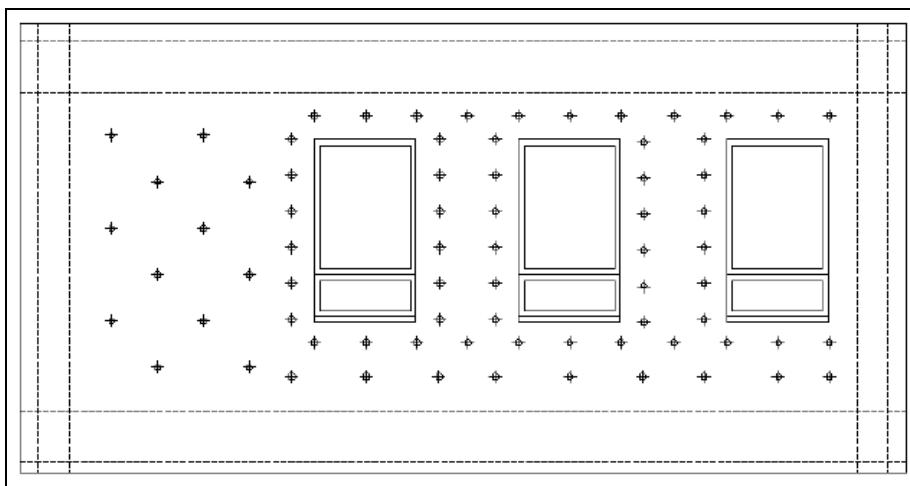


Figura 8 – Distribuição dos grampos num painel de alvenaria com vãos (Silva *et al.*, 2003)

Relativamente ao Empreendimento do Meilão, na Maia, a intervenção nas paredes duplas exteriores passou pela estabilização através do grampeamento pós-construção, reforço dos cunhais e reparação das fissuras e por último impermeabilização através da aplicação de revestimento sintético delgado armado.

No edifício do ISQ, em Vila Nova de Gaia, as intervenções operadas foram a impermeabilização da fachada com reboco delgado armado, o reforço de cunhais com sistema *Helibar* e ainda o grampeamento pós-construção com sistema *Dryfix*.

Capítulo 3

Caracterização dos tijolos

3 Caracterização dos tijolos

- 3.1. Aspetos gerais
- 3.2. Caracterização geométrica
- 3.3. Resistência mecânica

3. CARACTERIZAÇÃO DOS TIJOLOS

3.1. Aspectos gerais

Para a elaboração da campanha experimental, serão utilizados tijolos cerâmicos de furação horizontal de formato 30x20x15 e de formato 30x20x11, uma vez que esta contempla a elaboração de ensaios em paredes duplas e em provetes isolados. É ainda de referir que serão usados tijolos cerâmicos de produção recente, designados de novos, como se pode observar na Figura 9 e tijolos cerâmicos existentes, designados de velhos, mais propriamente tijolos que já estiveram sujeitos a variações de temperatura e humidade, não possuindo portanto a integridade das suas características, representados na Figura 10.

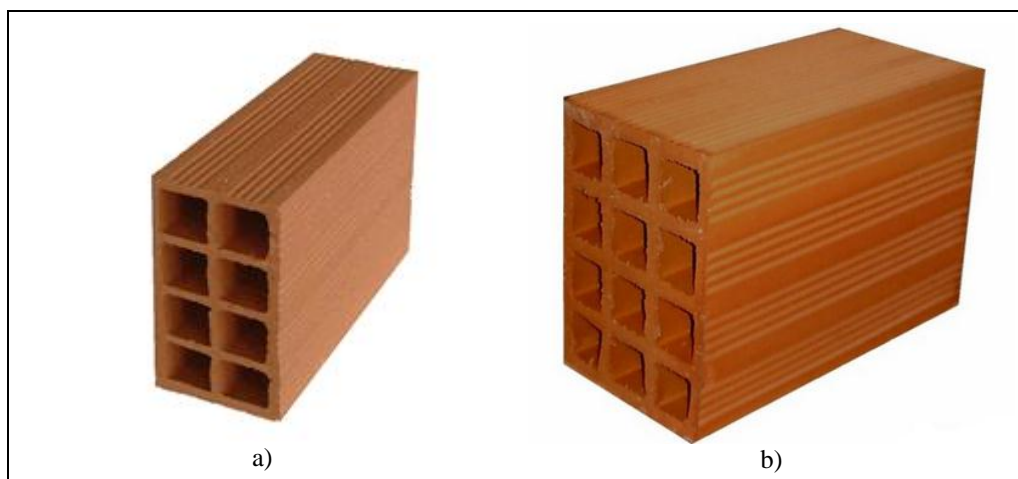


Figura 9 – Tijolo Novo: a) Formato 30x20x11; b) Formato 30x20x15

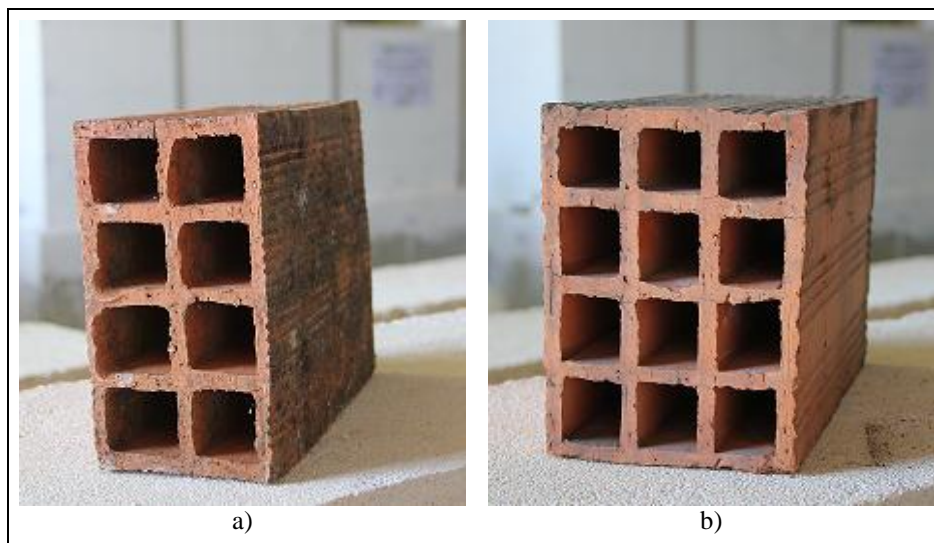


Figura 10 – Tijolo Velho: a) Formato 30x20x11; b) Formato 30x20x15

Sendo assim, os tijolos de formato 30x20x11 foram recolhidos em obras abandonadas há vários anos, estando portanto ao ar livre. Por outro lado, os tijolos de formato 30x20x15 foram recolhidos em Aguada de Baixo, concelho de Águeda, no parque exterior adjacente à unidade de produção da PRECERAM NORTE[®], estando estes já depositados há muitos anos.

Desta forma, achou-se conveniente efetuar uma caracterização dos vários tipos de tijolo, novos e velhos, realizando-se primeiro uma caracterização geométrica e posteriormente proceder à avaliação da resistência mecânica através de ensaios de compressão que serão feitos de acordo com a norma NP EN 772-1 (CEN, 2002).

3.2. Caracterização geométrica

Para se efetuar esta caracterização foram selecionados aleatoriamente 6 tijolos de formato 30x20x15 e de formato 30x20x11 novos e 6 tijolos de formato 30x20x15 e de formato 30x20x11 velhos e através de uma régua metálica foram determinados o comprimento, a largura e a altura. Os resultados para cada grupo de tijolos apresentam-se na Tabela 4, Tabela 5, Tabela 6 e Tabela 7.

Tabela 4 – Caracterização geométrica do tijolo de formato 30x20x11 novo

Tijolo de formato 30x20x11 Novo			
Provete nº	Comprimento (cm)	Altura (cm)	Largura (cm)
1	29,0	18,5	10,6
2	28,2	18,3	10,4
3	29,0	18,3	10,7
4	28,2	19,0	10,6
5	29,2	18,7	11,0
6	29,5	19,0	10,8
Média	28,9	18,6	10,7

Tabela 5 – Caracterização geométrica do tijolo de formato 30x20x15 novo

Tijolo de formato 30x20x15 Novo			
Provete nº	Comprimento (cm)	Altura (cm)	Largura (cm)
1	29,3	19,1	14,8
2	29,0	19,0	14,7
3	28,8	19,3	14,8
4	29,5	19,0	14,8
5	29,0	19,2	14,9
6	29,0	19,2	14,7
Média	29,1	19,1	14,8

Tabela 6 – Caracterização geométrica do tijolo de formato 30x20x11 velho

Tijolo de formato 30x20x11 Velho			
Provete nº	Comprimento (cm)	Altura (cm)	Largura (cm)
1	29,5	20,4	11,0
2	29,6	20,3	10,7
3	29,2	20,4	11,0
4	29,5	20,4	11,0
5	29,2	20,0	10,6
6	29,6	20,3	11,0
Média	29,4	20,3	10,9

Tabela 7 - Caracterização geométrica do tijolo de formato 30x20x15 velho

Tijolo de formato 30x20x15 Velho			
Provete nº	Comprimento (cm)	Altura (cm)	Largura (cm)
1	27,5	17,9	14,2
2	29,5	19,4	14,5
3	28,2	19,2	13,6
4	28,2	17,4	14,1
5	30,3	19,4	14,4
6	28,7	18,4	14,2
Média	28,7	18,6	14,2

De acordo com a norma NP EN 771-1 citada por (Dias, 2009), apresentam-se na Tabela 8 as dimensões máximas e mínimas com tolerância para os tijolos com formato 30x20x11 e 30x20x15.

Tabela 8 – Dimensões máximas e mínimas para os vários formatos de tijolos

Dimensões			
Formato	Comprimento (cm)	Altura (cm)	Largura (cm)
30x20x11	28,8 – 30,2	18,4 – 19,6	10,6 – 11,4
30x20x15	28,8 – 30,2	18,4 – 19,6	14,5 – 15,5

Para se efetuar a comparação das dimensões dos provetes com os limites calculou-se a média dos valores obtidos para cada provete. Desta forma é possível observar que os tijolos novos estão em conformidade com os limites estabelecidos pela norma. Por outro lado os tijolos velhos apresentam algumas dimensões que não respeitam os valores estabelecidos pela norma. Esta inconformidade é justificável, uma vez que como estes tijolos já têm muitos anos é possível que antigamente o controlo dimensional não fosse tão apertado, motivo pelo qual possam existir tijolos com alguma variação nas suas dimensões. Esta inconformidade dimensional pode também residir no facto de estes tijolos poderem ser de segunda ou terceira, classificação feita aquando do seu fabrico. É ainda importante realçar outro aspeto que pode justificar esta variação, que é o facto dos tijolos estarem abandonados ao ar livre há muito tempo, e portanto vão sofrendo retrações e expansões sucessivas devido aos vários ciclos de temperatura e humidade podendo assim sofrer variações nas suas dimensões.

3.3. Resistência mecânica

Para se efetuar a avaliação da resistência mecânica dos tijolos serão realizados ensaios de compressão nos mesmos, estes serão feitos de acordo com a norma NP EN 772-1 (CEN, 2002). É importante referir que apenas serão feitos ensaios de compressão num sentido, visto que para o caso em estudo é suficiente.

Antes de se proceder à realização dos ensaios de compressão, foi necessário efetuar previamente uma preparação dos provetes, que consistiu numa primeira fase em fazer uma remoção do material supérfluo como por exemplo as rebarbas resultante do processo de produção.

De seguida, efetuou-se a regularização das faces dos tijolos uma vez que de acordo com a norma as duas faces devem ser planas e paralelas para que a carga seja aplicada uniformemente sobre o tijolo. No caso em estudo, como se estava na posse de tijolos novos e

velhos, apresentando os segundos alguns problemas de regularização e nivelamento achou-se conveniente proceder à sua regularização.

Antes de se explicar o processo de regularização é importante referir que alguns dos tijolos novos de formato 30x20x11 já apresentavam algumas anomalias, que poderiam eventualmente influenciar a resistência mecânica do tijolo. A anomalia identificada no provete 1 foi alguma perda de material, como se pode observar na Figura 11 – a e no provete 3, 5 e 6 fissuração transversal como se observa na Figura 11 – b.



Figura 11 – Anomalias dos provetes: a) Perda de material no provete 1; b) Fissuração transversal nos provetes 3, 5 e 6

A regularização foi feita nas duas faces opostas através de um autonivelante da Weber, mais concretamente o *Weber Floor Fluid*[®]. A preparação deste autonivelante consistia apenas em juntar água na relação de 4,75 litros para 25 kg de autonivelante.

Sendo assim para se efetuar a regularização o primeiro passo foi fazer o nivelamento dos tijolos, como se pode observar na Figura 12.



Figura 12 – Nivelamento dos tijolos

Posteriormente, efetuou-se uma cofragem para que a colocação do autonivelante fosse mais facilitada através de cartão e com auxílio de fita-cola, conforme exemplificado na Figura 13.



Figura 13 – Cofragem dos tijolos

Após o autonivelante ganhar presa suficiente, procedeu-se à descofragem, Figura 14 e de seguida efetuou-se todo o processo desde o início para regularizar a face oposta.

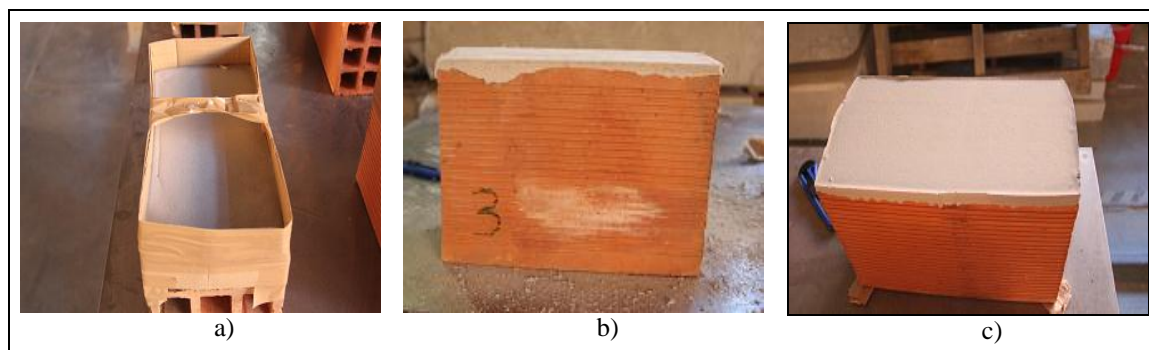


Figura 14 – Descofragem dos tijolos: a) Cofragem; b) Descofragem; c) Superfície Regular

Quando se concluiu a regularização da última face, esperou-se 28 dias, tempo de cura do autonivelante, para se iniciarem os ensaios de compressão simples.

Os ensaios foram efetuados no equipamento representado na Figura 15 que possui um anel de carga de 3000 kN e que fazia uma distribuição uniforme da força sobre o tijolo.



Figura 15 - Equipamento para o ensaio de compressão

Após a determinação da área da secção e da obtenção da força através dos ensaios, calculou-se então a tensão de rotura em compressão através da expressão:

$$\sigma_c = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Com os valores da tensão de rotura em compressão individuais, calculou-se o valor médio (σ_m), o desvio padrão (ε) e o coeficiente de variação (c_v), a partir das seguintes expressões:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\sigma_m - \sigma_c)^2}{n - 1}} \quad (2)$$

$$c_v = \frac{\varepsilon}{\sigma_m} \quad (3)$$

Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 9, Tabela 10, Tabela 11 e na Tabela 12.

Tabela 9 – Resultados da tensão de rotura em compressão do tijolo de formato 30x20x15 novo

Provete nº	Secção (mm ²)	Força (kN)	Tensão de Rotura (MPa)	Tensão Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coeficiente de Variação (%)
1	39652	143,5	3,62	3,01	0,39	13
2	39746	102,5	2,58			
3	40541	106,2	2,62			
4	40407	125,6	3,11			
5	39334	125,5	3,19			
6	39844	118,2	2,97			

Tabela 10 – Resultados da tensão de rotura em compressão do tijolo de formato 30x20x15 velho

Provete nº	Secção (mm²)	Força (kN)	Tensão de Rotura (MPa)	Tensão Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coeficiente de Variação (%)
1	34250	295,5	8,63	3,79	1,00	26
2	39829	117,5	2,95			
3	35917	144	4,01			
4	34414	183,5	5,33			
5	40613	116,6	2,87			
6	35275	134,3	3,81			
Nota: Os valores assinalados a vermelho não entram na média.						

Tabela 11 - Resultados da tensão de rotura em compressão do tijolo de formato 30x20x11 novo

Provete nº	Secção (mm ²)	Força (kN)	Tensão de Rotura (MPa)	Tensão Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coefficiente de Variação (%)
1	27967	44,6	1,59	1,72	0,23	14
2	26567	45,2	1,70			
3	27106	55,7	2,05			
4	26663	40,9	1,53			
5	27992	14,0	0,50			
6	28516	19,9	0,70			
Nota: Os valores assinalados a vermelho não entram na média.						

Tabela 12 – Resultados da tensão de rotura em compressão do tijolo de formato 30x20x11 velho

Provete nº	Secção (mm ²)	Força (kN)	Tensão de Rotura (MPa)	Tensão Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coefficiente de Variação (%)
1	28671	76,4	2,66	2,70	0,30	11
2	28017	79,7	2,84			
3	28762	13,8	0,48			
4	29021	65,3	2,25			
5	27792	74,5	2,68			
6	27953	85,7	3,07			
Nota: Os valores assinalados a vermelho não entram na média.						

De acordo com o fornecedor dos tijolos novos, a PRECERAM NORTE[®], a resistência à compressão, tanto dos tijolos de formato 30x20x11 como dos de formato 30x20x15, indicada em ficha técnica deve ser maior que 1,5 MPa, o que de facto foi possível comprovar através dos ensaios realizados. Relativamente aos tijolos velhos, como não se sabe qual o fabricante assumiu-se também o mesmo limite que para os tijolos novos. Sendo assim, e como é possível observar através das tabelas, apesar de estes serem velhos ainda possuem uma resistência à compressão superior ao limite mínimo (1,5 MPa).

É importante referir que os resultados assinalados nas tabelas a vermelho não entraram no cálculo da média, visto que são valores desviatórios relativamente aos outros e que possivelmente surgiram devido ao facto dos tijolos usados no ensaio não possuírem a integridade das suas capacidades ou possuírem algumas anomalias, que foram já referenciadas anteriormente.

Durante a realização do ensaio de compressão simples aos diversos tijolos, foi possível constatar que estes não apresentavam sempre o mesmo tipo de rotura, variando esta de tijolo para tijolo. Desta feita, após uma análise dos diversos tipos de rotura que se observaram foi possível agrupá-las em quatro tipos diferentes, que se apresentam na Figura 16.

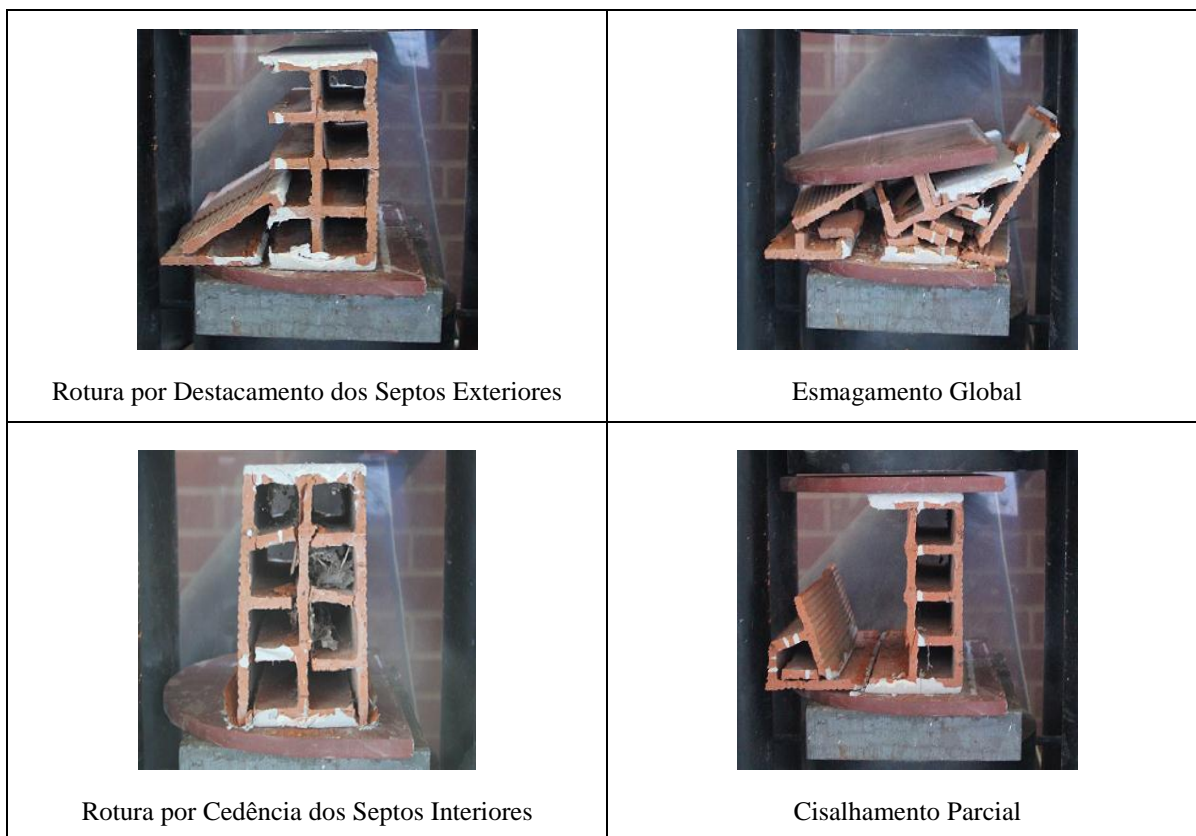


Figura 16 – Tipos de rotura

Capítulo 4

Primeira campanha experimental

4. Primeira campanha experimental

- 4.1. Aspectos gerais
- 4.2. Preparação dos provetes isolados
- 4.3. Preparação dos provetes-parede
 - 4.3.1. Processo construtivo das paredes
 - 4.3.2. Caracterização da argamassa de assentamento
 - 4.3.2.1. Resistência à flexão
 - 4.3.2.2. Resistência à compressão
 - 4.3.3. Caracterização da argamassa de reboco
 - 4.3.3.1. Resistência à flexão
 - 4.3.3.2. Resistência à compressão
- 4.4. Aplicação dos sistemas de grampeamento pós-construção nos provetes isolados
 - 4.4.1. Sistema *Dryfix*
 - 4.4.2. Sistema *CemenTie*
- 4.5. Aplicação dos sistemas de grampeamento pós-construção nos provetes-parede
- 4.6. Ensaio de arranque
 - 4.6.1. Ensaio de arranque nos provetes isolados
 - 4.6.2. Ensaio de arranque nos provetes-parede

4. PRIMEIRA CAMPANHA EXPERIMENTAL

4.1. Aspetos gerais

O principal objetivo da campanha experimental planeada consiste em testar dois sistemas distintos de grampeamento pós-construção em alvenaria de tijolo, mais concretamente o sistema *Dryfix* e o sistema *CemenTie*, a fim de se compreender integralmente as diferenças existentes entre ambos, quer a nível de execução, materiais utilizados, tempo despendido na sua realização, vantagens e desvantagens associadas, e mais importante ainda, a resistência, ou seja, conhecer a eficiência de cada um dos sistemas após aplicação.

Para se fazer o estudo da eficiência de cada um dos sistemas serão realizados vários ensaios em laboratório. É ainda de referir que os ensaios previstos vão ser efetuados com recurso a tijolos novos e a tijolos velhos, mais especificamente tijolos que já tenham estado expostos a diferentes ciclos de temperatura e humidade e que desta forma já não possuem a integridade das suas características iniciais. O objetivo da utilização de dois tipos de tijolos é avaliar o desempenho dos vários sistemas em condições distintas, pois se se pensar na reabilitação, para as quais os sistemas foram concebidos, os tijolos e materiais das paredes onde se vai fazer a intervenção não são recentes, apresentando alguma degradação e envelhecimento.

Para tal, prepararam-se dois tipos de provetes, isolados e provetes-parede.

Os provetes isolados foram preparados com o intuito de se avaliar a resposta dada por cada ancoragem, trabalhando isoladamente. Desta forma prepararam-se 30 provetes para cada sistema, *Dryfix* e *CemenTie*, com tijolos novos e velhos. Cada provete era constituído por um tijolo de formato 30x20x15 e um de formato de 30x20x11.

Por sua vez, a construção dos provetes-parede tem como principal objetivo permitir a possibilidade de testar as técnicas de grampeamento pós-construção num cenário o mais representativo possível da realidade.

Sendo assim construíram-se 4 provetes de parede dupla 15(6)11 com sensivelmente 1,20x1,20 metros e um espaçamento entre a parede de 11cm e a de 15cm de 6cm por forma a representar o espaçamento destinado à caixa de ar. Desses quatro provetes, dois foram feitos com recurso a tijolos novos e os outros dois com tijolos velhos.

Em cada uma das paredes serão efetuados 12 ensaios de arranque, estando a localização de cada um deles representada na Figura 17 por um círculo no centro de cada tijolo.

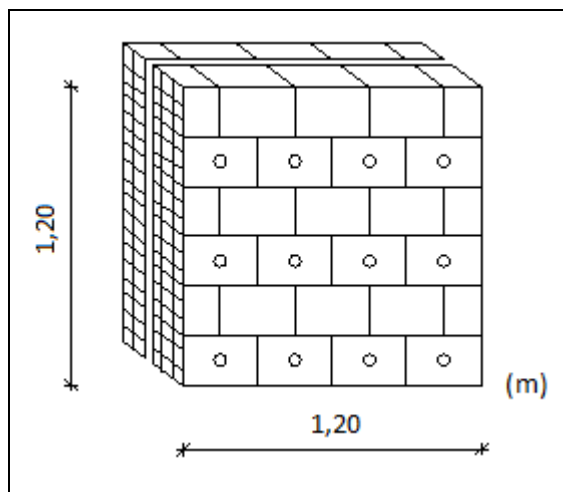


Figura 17 – Identificação dos pontos de ensaio

4.2.Preparação dos provetes isolados

Para a preparação dos provetes isolados o primeiro passo a efetuar foi a obtenção de barras cortadas de placas de XPS para que fosse possível garantir o espaçamento entre os tijolos de formato 30x20x15 e de formato 30x20x11 correspondente ao espaçamento conferido pela caixa de ar.

De seguida procedeu-se então à montagem dos provetes em linha. Primeiro colocou-se o tijolo de formato 30x20x11, depois colocaram-se as barras de XPS preparadas previamente e por último colocou-se o tijolo de formato 30x20x15. Para que este sistema funcionasse e fosse possível uma correta aplicação das técnicas de grampeamento pós-construção colocaram-se tábuas e grampos para garantir a estabilidade dos tijolos durante o processo de furação e aplicação. O esquema de montagem pode ser visualizado na Figura 18 e na Figura 19.

Na Figura 20 pode-se observar a composição e o esquema de montagem dos provetes isolados em detalhe.



Figura 18 – Preparação dos provetes isolados (1)



Figura 19 – Preparação dos provetes isolados (2)

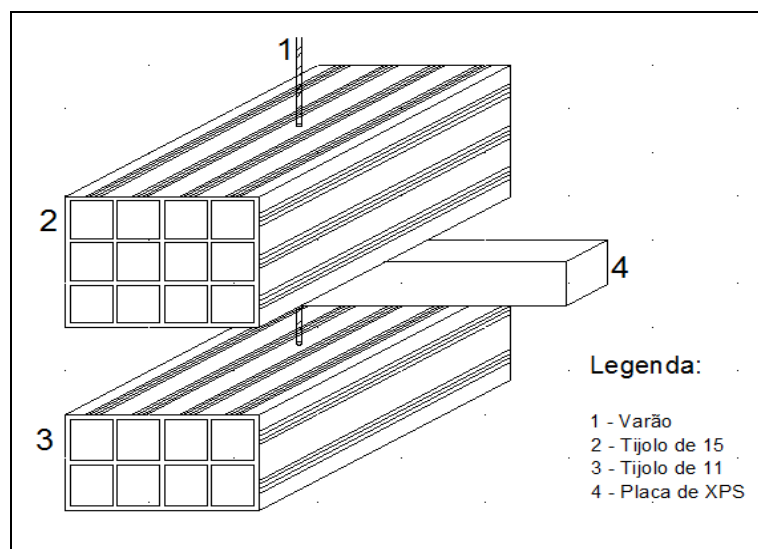


Figura 20 – Esquema dos provetes isolados

4.3.Preparação dos provetes-parede

Neste ponto serão descritas as várias etapas que fazem parte do processo construtivo das paredes de alvenaria e ainda a caracterização da argamassa usada na construção das paredes.

4.3.1. Processo construtivo das paredes

Na execução das paredes de alvenaria seguiu-se sempre a mesma ordem de procedimentos, os quais são descritos de seguida (Dias, 2009):

1. Preparação da argamassa;
2. Marcação e 1ª fiada;
3. Molhagem prévia dos tijolos;
4. Assentamento dos tijolos;
5. Enchimento das juntas verticais;
6. Reboco das paredes.

A preparação da argamassa foi efetuada com o auxílio de uma betoneira, onde se colocou em primeiro lugar a areia e depois o cimento, misturando-se muito bem estes dois materiais e só depois se acrescentou a água de amassadura necessária.

Depois de preparada a argamassa é efetuada a marcação e construção da 1ª fiada de tijolos através da aplicação de uma camada de argamassa no pavimento, que servirá de base à 1ª fiada.

É importante referir que se deve sempre efetuar uma molhagem prévia dos tijolos, (ver Figura 21), visto que estes são elementos cerâmicos bastante porosos e que portanto absorvem com relativa facilidade água por contacto. Se não existisse este cuidado, os tijolos iriam absorver a água de amassadura da argamassa de assentamento, o que levaria a que esta argamassa em vez de ganhar dureza, tornar-se-ia desagregável.



Figura 21 – Molhagem prévia dos tijolos

No assentamento das restantes fiadas, começa-se por se efetuar o espalhamento de argamassa com largura do pano na zona de assentamento, depois procede-se à colocação do primeiro e

do último tijolo da fiada. Com o auxílio de uns tripés é esticado um fio para que seja possível garantir a horizontalidade e aprumo da fiada que se está a construir, (ver Figura 22).

Depois de colocado o fio, colocam-se os restantes tijolos na fiada deixando uma junta vertical com aproximadamente 1,5cm. O preenchimento das juntas verticais é feito com a ajuda de uma colher e de uma talocha, (ver Figura 23).

Antes de se iniciar o espalhamento da argamassa para o assentamento da fiada seguinte é ainda importante que com um pincel se faça a molhagem da superfície do tijolo da camada inferior.

Este processo efetua-se para as várias fiadas de tijolos sempre da mesma forma.



Figura 22 – Utilização de um fio e um tripé para garantir a horizontalidade e o aprumo



Figura 23 – Preenchimento das juntas verticais

Depois de se deixar curar o tempo suficiente, procedeu-se então ao reboco das paredes, através de uma argamassa com um traço diferente da argamassa de assentamento. Começou-

se então por se efetuar um chapisco em todas as paredes, (ver Figura 24), seguindo-se a realização do reboco propriamente dito, (ver Figura 25)



Figura 24 – Chapisco das paredes



Figura 25 – Reboco das paredes

4.3.2. Caracterização da argamassa de assentamento

A argamassa que foi usada no assentamento das paredes tinha um traço de 1:3 (cimento: areia) medido em volume. Para se efetuar a caracterização da argamassa usada optou-se apenas por se realizarem ensaios à flexão e à compressão, pois achou-se que estes seriam os mais adequados. Os ensaios foram feitos com base na norma EN 1015-11(CEN, 1999).

É importante referir que antes da realização dos ensaios, os provetes estiveram primeiro 7 dias numa câmara climática a 95% de humidade e 20°C de temperatura, desses 7 dias 2 foram ainda dentro do molde e os outros 5 dias foram fora do molde. Posteriormente e para se atingir os 28 dias da cura da argamassa colocaram-se os provetes 21 dias numa câmara climática a 65% de humidade e 20°C de temperatura.

4.3.2.1. Resistência à flexão

Para a realização do ensaio à flexão foram preparados 3 provetes da argamassa de assentamento dos tijolos novos e 3 provetes da argamassa de assentamento dos tijolos velhos. Cada provete possuía um comprimento de 160mm, uma altura de 40mm e uma largura de 40mm, como se pode observar na Figura 26.



Figura 26 – Provetes de argamassa

Para a realização do ensaio, o equipamento usado foi uma Máquina Universal de Ensaio, Figura 27, da marca *Shimadzu*, modelo AG – IC 100kN. A célula de carga que se usou foi de 5kN. A velocidade do ensaio foi de 50N/segundo.



Figura 27 – Máquina Universal de Ensaio

Como se pode observar na Figura 28 – a o ensaio de flexão consiste em colocar o provete apoiado em dois pontos que distam um do outro 100mm e seguidamente aplicar uma carga no centro do provete.

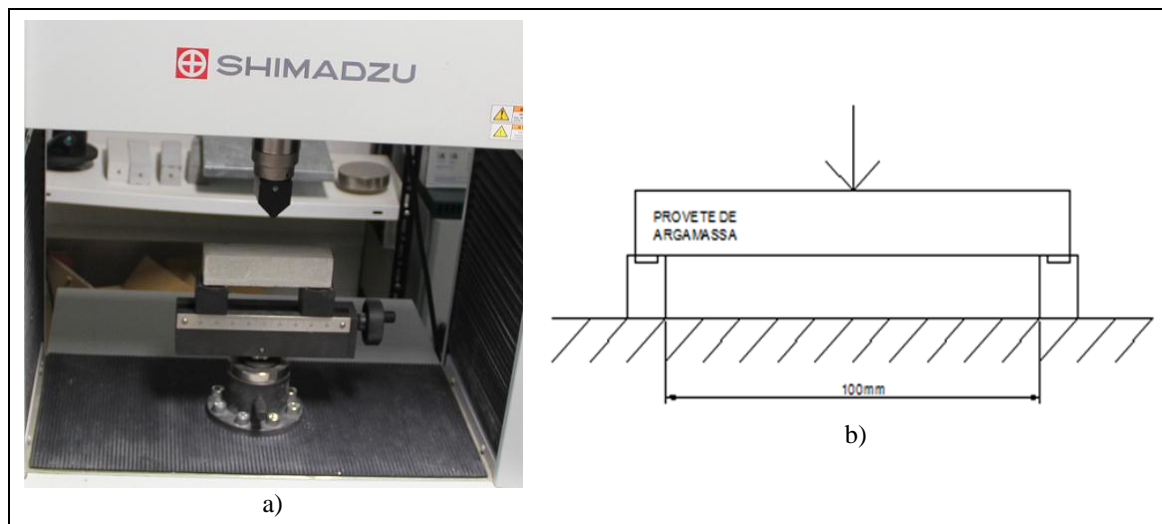


Figura 28 – Ensaio à flexão: a) Ensaio real; b) Esquema do ensaio

Nas tabelas a seguir é possível observar os valores obtidos para os vários provetes ensaiados, na Tabela 13 apresentam-se os resultados para os provetes de argamassa de assentamento dos tijolos novos e na Tabela 14 apresentam-se os resultados para os provetes de argamassa de assentamento dos tijolos velhos.

O cálculo da tensão de resistência à flexão (f), foi determinado recorrendo à seguinte expressão:

$$f = 1,5 \times \frac{F_m \cdot l}{b \cdot d^2} \quad (4)$$

Em que:

- F_m – Força máxima obtida (N);
- l – Distância entre eixos de apoio (mm);
- b – Largura do provete (mm);
- d – Espessura do provete (mm).

Tabela 13 – Resultados do ensaio à flexão dos provetes de argamassa de assentamento dos tijolos novos

Provete nº	Espessura (mm)	Largura (mm)	Suporte Inferior (mm)	Máx. Força (kN)	Máx. Tensão (MPa)	Média (MPa)
1	40	40	100	2,32	5,43	5,88
2	40	40	100	2,73	6,41	
3	40	40	100	2,48	5,81	

Tabela 14 – Resultados do ensaio à flexão dos provetes de argamassa de assentamento dos tijolos velhos

Proвете n°	Espessura (mm)	Largura (mm)	Suporte Inferior (mm)	Máx. Força (kN)	Máx. Tensão (MPa)	Média (MPa)
1	40	40	100	1,57	3,69	3,87
2	40	40	100	1,83	4,28	
3	40	40	100	1,55	3,64	

4.3.2.2. Resistência à compressão

Para a realização dos ensaios de compressão à argamassa foram usadas as metades dos provetes que resultaram do ensaio de flexão (ver Figura 29). O equipamento usado neste ensaio foi o mesmo do ensaio à flexão (ver Figura 27), alterando-se apenas a célula de carga e a velocidade, usando-se então para este ensaio uma célula de carga de 100 kN e uma velocidade de 500N/segundo. Na Figura 30 - a pode-se observar o provete já preparado e colocado na posição correta para o início do ensaio e na Figura 30 – b apresenta-se o esquema do ensaio. Na Tabela 15 podem-se observar os resultados para a argamassa de assentamento dos tijolos novos, enquanto que na Tabela 16 é possível observar os valores obtidos para a argamassa de assentamento dos tijolos velhos.



Figura 29 – Provetes de argamassa

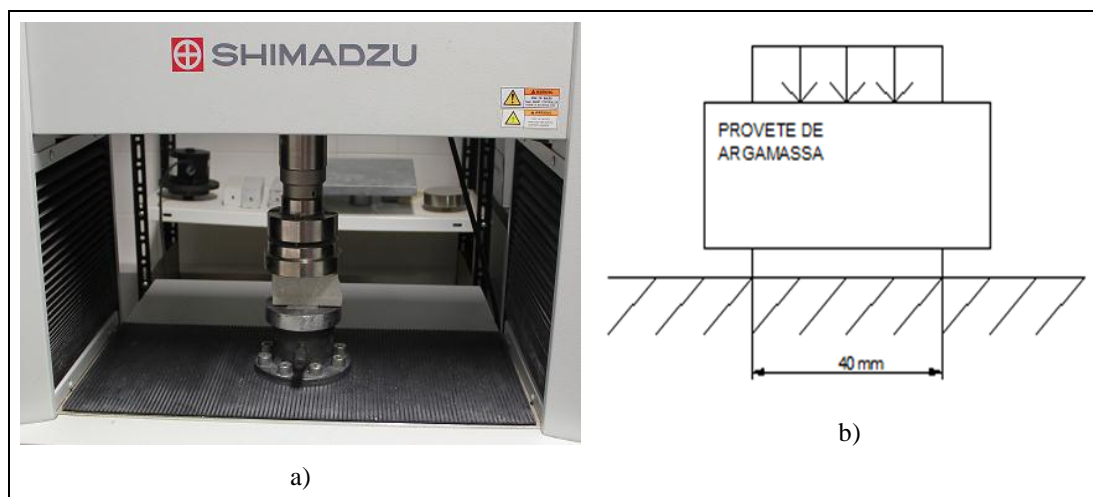


Figura 30 – Ensaio à compressão: a) Ensaio real; b) Esquema do ensaio

Tabela 15– Resultados do ensaio à compressão dos provetes de argamassa de assentamento dos tijolos novos

Provetes n°	Espessura (mm)	Largura (mm)	Altura (mm)	Máx. Força (kN)	Máx. Tensão (MPa)	Média (MPa)
1	40	40	40	36,20	22,62	24,26
2	40	40	40	39,12	24,45	
3	40	40	40	38,00	23,75	
4	40	40	40	40,24	25,15	
5	40	40	40	39,73	24,83	
6	40	40	40	39,57	24,73	

Tabela 16– Resultados do ensaio à compressão dos provetes de argamassa de assentamento dos tijolos velhos

Provetes n°	Espessura (mm)	Largura (mm)	Altura (mm)	Máx. Força (kN)	Máx. Tensão (MPa)	Média (MPa)
1	40	40	40	29,69	18,56	17,57
2	40	40	40	29,48	18,42	
3	40	40	40	25,60	16,00	
4	40	40	40	29,54	18,46	
5	40	40	40	26,74	16,71	
6	40	40	40	27,63	17,27	

Após uma análise cuidadosa dos resultados obtidos é possível verificar que existem diferenças relativamente consideráveis nos valores de tensão obtidos, quer nos ensaios à flexão quer nos ensaios à compressão, para a argamassa usada no assentamento dos tijolos novos e dos tijolos velhos.

Estas diferenças podem ser justificadas pelo facto do traço usado na produção da argamassa ter sido em volume e não em peso, o que conduz a uma diminuição de rigor na medição das quantidades de areia e ligante. A percentagem de água usada na produção de argamassa também não foi alvo de um controlo apertado o que por vezes, conduziu à necessidade de se adicionar água durante a aplicação para melhorar a sua trabalhabilidade, como se faria na realidade, em obra.

Optou-se por usar o traço em volume nesta campanha experimental pelo facto de que a maior ou menor qualidade da argamassa não iria influenciar significativamente os resultados finais dos ensaios do provete-parede.

4.3.3. Caracterização da argamassa de reboco

A argamassa usada no reboco das paredes tinha um traço de 1:1,5:3,5 (cimento: areia fina: areia grossa) medido em volume. A caracterização desta argamassa foi feita com os mesmos ensaios que se tinham realizado para a argamassa de assentamento, ensaios à flexão e à compressão.

A cura destes provetes passou igualmente pela colocação dos mesmos, numa fase inicial, 7 dias numa câmara climática a 95% de humidade e 20°C de temperatura, desses 7 dias 2 foram ainda dentro do molde e os outros 5 dias foram fora do molde.

Posteriormente colocaram-se os provetes 21 dias numa câmara climática a 65% de humidade e 20°C de temperatura.

4.3.3.1. Resistência à flexão

Como o equipamento usado e o processo de execução do ensaio foi o mesmo que se usou para a caracterização da argamassa de assentamento, nesta secção, para evitar a repetição do que já foi dito apresenta-se apenas a tabela com os resultados obtidos, Tabela 17.

Tabela 17 – Resultados do ensaio à flexão da argamassa de reboco

Provete nº	Espessura (mm)	Largura (mm)	Suporte Inferior (mm)	Máx. Força (kN)	Máx. Tensão (MPa)	Média (MPa)
1	40	40	100	0,76	1,79	1,77
2	40	40	100	0,74	1,74	
3	40	40	100	0,77	1,81	
4	40	40	100	0,75	1,76	
5	40	40	100	0,68	1,60	
6	40	40	100	0,73	1,92	

4.3.3.2. Resistência à compressão

O procedimento de ensaio a esta argamassa foi em tudo semelhante ao efetuado à argamassa de assentamento e portanto já descrito anteriormente. Sendo assim os resultados obtidos através deste ensaio podem ser observados na Tabela 18.

Tabela 18 – Resultados do ensaio de compressão à argamassa de reboco

Provete nº	Espessura (mm)	Largura (mm)	Altura (mm)	Máx. Força (kN)	Máx. Tensão (MPa)	Média (MPa)
1	40	40	40	9,51	5,95	6,33
2	40	40	40	10,46	6,54	
3	40	40	40	9,90	6,19	
4	40	40	40	9,52	5,95	
5	40	40	40	9,60	6,00	
6	40	40	40	10,02	6,26	
7	40	40	40	11,37	7,10	
8	40	40	40	10,75	6,72	
9	40	40	40	9,88	6,18	
10	40	40	40	9,85	6,15	
11	40	40	40	10,29	6,43	
12	40	40	40	10,37	6,48	

4.4. Aplicação dos sistemas de grampeamento pós-construção nos provetes isolados

Antes de se iniciar a descrição das etapas, é importante referir que a aplicação dos sistemas de grampeamento nos provetes isolados foi efetuada com auxílio de um funcionário da empresa STB, que se deslocou ao laboratório do Departamento de Engenharia Civil. As várias etapas do processo de aplicação serão descritas nas secções seguintes.

4.4.1. Sistema *Dryfix*

A aplicação do sistema *Dryfix* é relativamente rápida e simples de efetuar. Os varões utilizados neste sistema são helicoidais com diâmetro de 8mm em aço inox.

O primeiro passo a efetuar para a aplicação deste sistema é uma pré furação com uma broca de 5 mm, como se pode observar na Figura 31.



Figura 31 – Processo de execução do sistema *Dryfix*

Após a conclusão da pré furação, procede-se logo de seguida à colocação dos varões helicoidais. É importante referir que esta colocação dos varões se faz por cravação, ou seja, furação com batimento, (ver Figura 31), utilizando um equipamento específico, mais concretamente um adaptador que se coloca no berbequim, (ver Figura 32).



Figura 32 – Adaptador para cravação

4.4.2. Sistema *CemenTie*

A aplicação deste sistema já não é tão simples quanto a do anterior e é também mais morosa, uma vez que é preciso ter certos cuidados na colocação das camisas, por forma a que estas possam ficar na posição correta, pois caso contrario já não será possível a injeção do *grout*. Outro aspeto a ter em conta neste sistema é o tempo de cura, sendo o tempo para ganhar a presa devida, de cerca de 28 dias.

Sendo assim a aplicação deste sistema de grampeamento pós-construção segue os seguintes passos, indicados na Figura 33.

O *grout* cimentício trata-se de uma mistura pré-doseada, que foi apenas misturada *in situ*, fornecida pela HELIFIX[®], como se pode observar na Figura 34 - a.

Depois de bem misturados os componentes e de estar adquirida a plasticidade e trabalhabilidade pretendida, o *grout* é colocado dentro de uma pistola que possui um adaptador para encher as camisas, (ver Figura 34 - b).

Segundo (HELIFIX, 2008) as principais características do *grout* são:

- *Grout* não retrátil;
- Flui facilmente sob pressão para preencher espaços vazios;
- Desenvolve rapidamente resistência à compressão;
- Componente pronto para mistura fornecido em embalagens para reduzir o desperdício.
- Após o 4º dia de cura possui 35MPa de resistência à compressão, após o 7º dia possui 45MPa e após o 28º dia possui 60MPa de resistência.





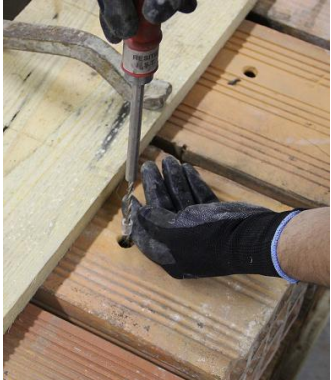

 <p>1º - Pré-furação com uma broca de 5mm</p>	 <p>2º - Furação dos tijolos com uma broca de 14 mm</p>
 <p>3º - Colocação da camisa de enchimento no tijolo de formato 30x20x11</p>	 <p>4º - Enchimento da camisa com <i>grout</i> cimentício</p>
 <p>5º - Colocação do varão no furo e na camisa</p>	 <p>6 - Colocação e enchimento da camisa no tijolo de formato 30x20x15</p>

Figura 33 - Processo de execução do sistema *CemenTie*



Figura 34 – Preparação do *grout*: a) Mistura; b) Colocação na pistola de enchimento

Um aspeto, importante e determinante na aplicação deste sistema e que criou algumas dificuldades foi o enchimento das camisas. Normalmente as técnicas de grampeamento pós-construção são aplicadas em paredes, sendo o enchimento das camisas feito com a pistola de *grout* numa posição horizontal, o que permite ter um maior controlo do equipamento e da quantidade de *grout* injetado. Por sua vez, na aplicação desta técnica aos provetes isolados, era necessário colocar a pistola na vertical, criando alguma dificuldade na fase de injeção, pois não era possível controlar com tanta destreza a quantidade de *grout* injetado nas camisas.

4.5. Aplicação dos sistemas de grampeamento pós-construção nos provetes-parede

Na aplicação dos sistemas de grampeamento pós-construção nos provetes-parede seguiram-se as mesmas etapas que já foram descritas na aplicação dos sistemas nos provetes isolados. A única diferença relativamente ao que já foi descrito na secção anterior, diz respeito ao facto de antes de se iniciar a pré-furação, marcou-se o alinhamento dos furos com fio de marcação por forma a que se evitasse a aplicação dos sistemas nas juntas de argamassa verticais, pois como as paredes estavam rebocadas não se identificava as juntas, como se observa na Figura 35.

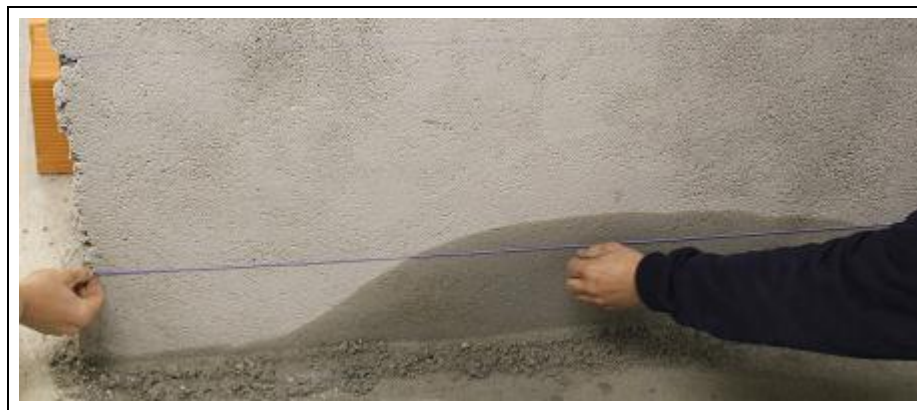


Figura 35 – Marcação prévia da grelha com os pontos de furação

Outro aspeto importante de ressaltar diz respeito ao facto de se definir a aplicação em fiadas intercaladas de tijolos e os que foram aplicados na mesma fiada foram colocados em tijolos diferentes, para evitar que a aplicação de um varão afeta-se outro ponto de aplicação mais próximo, como é possível verificar na Figura 36.



Figura 36 – Disposição dos sistemas na parede

4.6. Ensaios de arranque

Depois de se ter atingido a cura total do *grout* cimentício dos provetes iniciaram-se os ensaios de arranque que foram realizados com dinamómetros de diferente resolução, um de 3kN, disponibilizado pela HELIFIX[®] e outro de 16kN do laboratório do Departamento de Engenharia Civil, (ver Figura 37).

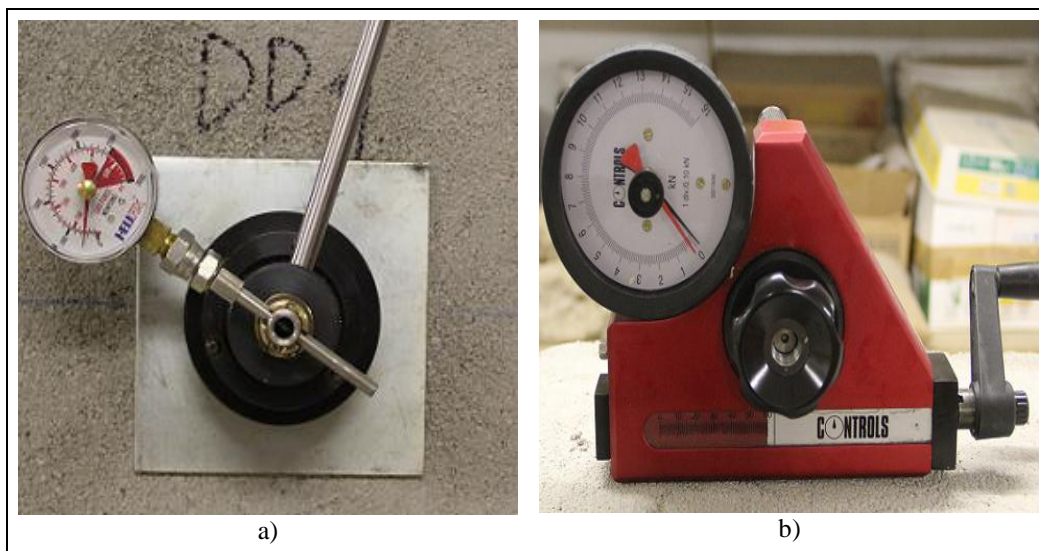


Figura 37 - Aparelhos de Ensaio: a) Dinamómetro de 3kN; b) Dinamómetro de 16kN

É importante referir que apesar de se ter aplicado os mesmos sistemas de reforço nos provetes isolados e nos provetes-parede, estes foram ensaiados de modo diferente, como será explicado mais à frente.

4.6.1. Ensaios de arranque nos provetes isolados

Para os ensaios dos provetes isolados, o primeiro passo a efetuar foi o corte do varão helicoidal entre o tijolo de formato 30x20x11 e o tijolo de formato 30x20x15, ficando desta forma os tijolos separados um do outro, visto que o objetivo desta campanha passava por realizar os ensaios de arranque aos tijolos individualmente.

Para que o ensaio fosse realizado nas melhores condições possíveis preparou-se uma bancada onde se colocavam os tijolos e de seguida eram ensaiados, como se pode observar na Figura 38. Nesta figura é possível visualizar o esquema montado na bancada para tentar fixar os tijolos para a realização do ensaio e ainda o equipamento utilizado no ensaio de arranque.



Figura 38 – Bancada e equipamento de ensaio

O princípio deste ensaio consiste em tracionar o varão que se encontra cravado no tijolo, no caso do *Dryfix*, ou que se encontra dentro do bolbo de *grout* formado nas camisas de enchimento no caso do *CemenTie* e verificar a força de arranque obtida.

Este ensaio foi efetuado com um dinamómetro de 3kN, como se pode observar na Figura 39.

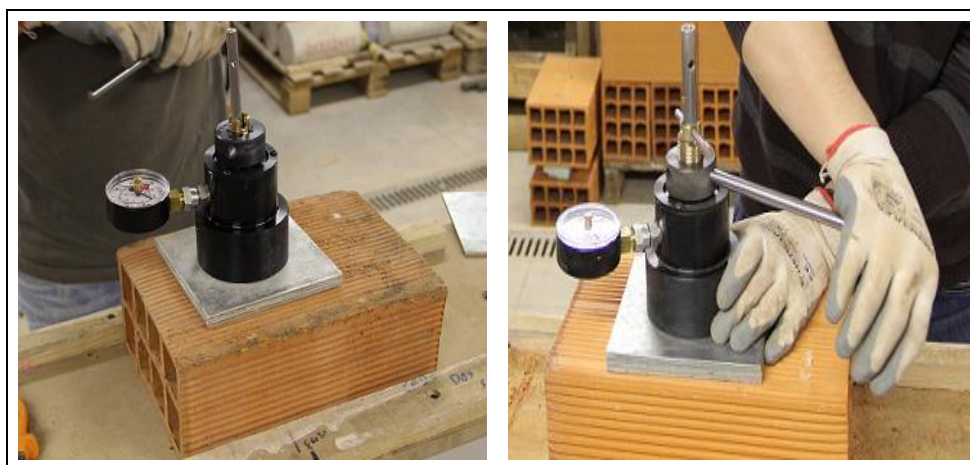


Figura 39 – Ensaio com o dinamómetro de 3kN nos provetes isolados

4.6.2. Ensaios de arranque nos provetes-parede

No caso dos provetes-parede, como o objetivo era simular em ambiente de laboratório a situação real ensaiou-se o sistema de grampeamento seguindo a metodologia que se costuma usar em obra. Foram utilizados dois dinamómetros diferentes, usando-se o dinamómetro de 3kN para o sistema de grampeamento *Dryfix*, e o dinamómetro de 16kN para o sistema de grampeamento *CemenTie*, (ver Figura 40).

O uso de um dinamómetro de maior capacidade para ensaiar o grampeamento com sistema *CemenTie* prende-se com o facto de estar previsto a obtenção de valores para a força de

arranque superiores a 3kN, pelo que, o dinamómetro de 3kN não teria capacidade para efetuar o ensaio e registar o valor final obtido.



Figura 40 – Ensaaios nos provetes-parede: a) Dinamómetro de 3kN; b) Dinamómetro de 16kN

Capítulo 5

Resultados da primeira campanha experimental

5. Resultados da primeira campanha experimental

5.1. Enquadramento

5.2. Sistema de grampeamento pós-construção – *Dryfix*

5.2.1. Comparação dos provetes de tijolos isolados

5.2.2. Comparação dos provetes isolados com o provete-parede

5.2.2.1. Tijolos velhos

5.2.2.2. Tijolos novos

5.2.3. Relação da força de arranque com a tensão de compressão nos tijolos de formato 30x20x11

5.2.4. Relação da força de arranque com a tensão de compressão nos tijolos de formato 30x20x15

5.2.5. Tipos de rotura

5.3. Sistema de grampeamento pós-construção – *CemenTie*

5.3.1. Tipos de rotura

5.3.2. Comparação dos provetes de tijolos isolados

5.3.3. Comparação dos provetes isolados com o provete-parede

5.3.3.1. Tijolos velhos

5.3.3.2. Tijolos novos

5.3.4. Relação da força de arranque com a tensão de compressão nos tijolos de formato 30x20x11

5.3.5. Relação da força de arranque com a tensão de compressão nos tijolos de formato 30x20x15

5. RESULTADOS DA PRIMEIRA CAMPANHA EXPERIMENTAL

5.1. Enquadramento

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos na primeira campanha experimental efetuada em provetes isolados e em provetes-parede, onde foram aplicados os dois sistemas de grampeamento pós-construção, *Dryfix* e *CemenTie* da HELIFIX®.

Os resultados serão apresentados sob a forma de tabelas e gráficos, que mais à frente serão devidamente analisados e discutidos.

Nas tabelas que serão apresentadas nas secções seguintes, para além dos valores resultantes dos ensaios de arranque feitos com os dispositivos de arranque, serão ainda incluídas algumas observações pertinentes acerca dos provetes e do seu estado e qualidade aquando dos ensaios, assim como o modo de rotura que se obteve no ensaio de arranque, que será exposto e discutido quando se apresentarem os resultados de cada sistema de grampeamento, uma vez que se observaram diferentes modos de rotura para os vários sistemas.

As fragilizações que os tijolos apresentavam, serão indicadas nas tabelas sob a forma de siglas, as quais possuem o seguinte significado, (ver Figura 41):






Designação (Sigla)	Descrição	Exemplo
S.F	Septos fissurados	
P.M	Perda de material	
F.T	Fissuração transversal	
F.L	Fissuração longitudinal	
F.T.P	Fissuração transversal com perda de material.	

Figura 41 – Sinais de fragilização dos tijolos antes dos ensaios

5.2. Sistema de grampeamento pós-construção – *Dryfix*

5.2.1. Comparação dos provetes de tijolo isolados

Na Tabela 19 e na Tabela 20 apresentam-se os resultados obtidos para a força de arranque em provetes executados com tijolos velhos e tijolos novos.

Tabela 19 – Resultados dos provetes isolados de tijolo velho com sistema *DRYFIX* (...)

Proвете nº	Força de Arranque (N)		Fragilizações Observadas	
	Tijolo de 11	Tijolo de 15	Tijolo de 11	Tijolo de 15
1	400	850	S.F; F.L	S.F; F.L
2	600	1200	-	-
3	700	400	-	F.L
4	750	950	-	S.F
5	650	700	-	F.L
6	500	500	-	F.L; S.F; P.M
7	400	1000	-	F.L; P.M
8	500	600	-	F.L
9	500	600	-	F.L
10	600	300	-	F.L
11	500	1200	-	F.L; S.F
12	500	350	F.L	-
13	900	400	-	-
14	800	300	-	-
15	800	850	-	F.L
16	600	500	-	S.F
17	700	500	-	F.L
18	500	300	F.L	F.T
19	650	1650	-	-
20	500	1100	-	F.L
21	600	400	-	-
22	400	1100	F.L	-
23	450	850	-	F.L; S.F
24	400	1600	-	F.L
25	700	1500	-	-

Tabela 19 – (...) Resultados dos provetes isolados de tijolo velho com sistema *DRYFIX*

26	500	1200	F.L	-
27	700	1250	S.F	P.M
28	350	2200	-	F.T
29	600	-	-	Varão Solto ¹
Média	577,6	869,6		
Desvio Padrão	139,9	486,9		
Coefficiente de Variação	24%	56%		

¹Quando foi efetuado o corte do varão para o ensaio, este soltou-se no tijolo de formato 30x20x15, sendo portanto impossível ensaiar este provete.

Tabela 20 - Resultados dos provetes isolados de tijolo novo com sistema *DRYFIX* (...)

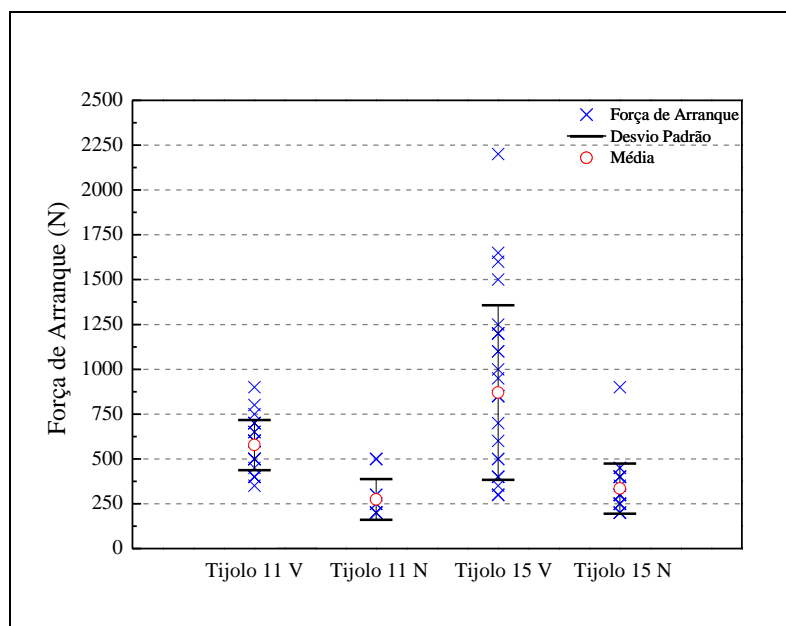
Proвете №	Força de Arranque (N)		Fragilizações Observadas	
	Tijolo de 11	Tijolo de 15	Tijolo de 11	Tijolo de 15
1	200	400	-	-
2	p.n.v	200	-	S.F
3	300	300	F.L	F.T
4	500	250	-	F.T
5	p.n.v	300	F.L	-
6	200	250	S.F	F.T
7	p.n.v	450	-	-
8	p.n.v	250	-	-
9	200	300	-	F.T
10	250	900	S.F	-
11	250	400	-	-
12	200	300	-	S.F
13	p.n.v	400	S.F	F.T
14	250	p.n.v	-	F.T
15	p.n.v	450	-	-
16	200	300	-	-
17	200	350	-	-
18	200	300	-	F.T
19	200	300	-	F.T
20	p.n.v	200	F.L; S.F	F.T

Tabela 20 - (...) Resultados dos provetes isolados de tijolo novo com sistema *DRYFIX*

21	p.n.v	400	S.F	-
22	500	200	-	-
23	p.n.v	250	-	-
24	p.n.v	200	S.F	-
25	300	250	F.L; S.F	-
26	500	400	S.F	-
27	200	400	F.T	-
Média	273,5	334,6		
Desvio Padrão	113,4	139,8		
Coefficiente de Variação	41%	42%		

* p.n.v – provete não válido

Com os resultados das tabelas anteriores e para melhor compreensão e interpretação dos mesmos construiu-se o gráfico representado na Figura 42, através do qual se pretende efetuar uma comparação dos resultados dos provetes de tijolos novos relativamente aos velhos.

Figura 42 – Força de arranque em provetes de tijolos velhos e tijolos novos – Sistema *DRYFIX*

A partir da análise do gráfico verifica-se que os tijolos velhos apresentam, em média, melhores resultados de arranque do que os tijolos novos.

É possível constatar ainda, que tanto para os provetes de tijolos novos como nos de tijolos velhos, os de formato de 30x20x15 apresentam melhores resultados. Como o princípio da

técnica de reforço *Dryfix* é por atrito do varão helicoidal no tijolo, seria expectável estes resultados, uma vez que o tijolo de formato 30x20x15 tem mais septos do que o de formato 30x20x11 proporcionando maior atrito entre o varão e o tijolo conduzindo a uma força de arranque, em média, superior.

Nos provetes de tijolos velhos existe um acréscimo de força de arranque de 51% dos tijolos de formato 30x20x11 para os tijolos de formato 30x20x15, por sua vez, nos provetes de tijolos novos, esse acréscimo é apenas de 22%.

5.2.2. Comparação dos provetes isolados com o provete-parede

5.2.2.1. Tijolos velhos

Na Tabela 21 apresentam-se os resultados dos ensaios de arranque no provete-parede construído com tijolos velhos.

Tabela 21 – Resultados do provete-parede de tijolo velho – Sistema *DRYFIX*

Provete nº	Força de Arranque (N)
1	1300
2	950
3	1700
4	700
5	1300
6	1700
7	400
8	1300
9	1750
10	950
11	600
12	1100
Média	1145,8
Desvio Padrão	445,4
Coeficiente de Variação	39%

A partir da Tabela 19 e Tabela 21 construiu-se o gráfico da Figura 43, onde se pretende relacionar os resultados dos provetes isolados com os do provete-parede.

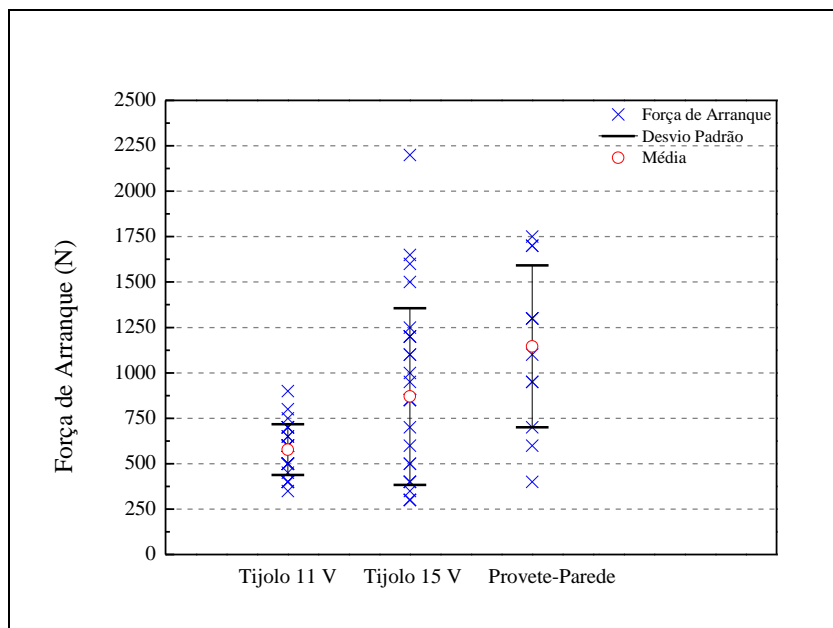


Figura 43 – Força de arranque nos provetes isolados e no provete-parede – Sistema *DRYFIX*

O valor da força de arranque obtida no provete-parede é em média superior ao valor dos provetes isolados de tijolo de formato 30x20x11 e de formato 30x20x15. Desta forma o acréscimo do valor médio do provete-parede relativamente aos provetes de tijolo de formato 30x20x15 é 32% e relativamente aos de tijolo de formato 30x20x11 é de 98%.

Como seria de esperar o acréscimo do provete-parede relativamente ao tijolo de formato 30x20x15 é menor, visto que, quando é efetuado o ensaio de arranque no provete-parede, o tijolo de formato 30x20x15 oferece mais resistência que o tijolo de formato 30x20x11, contribuindo assim para uma maior força de arranque global no caso de uma parede.

Um aspeto interessante a verificar é a comparação da soma do valor médio dos provetes de tijolo de formato 30x20x11 e 30x20x15 com o valor médio do provete parede. Mas tal comparação não é possível pois a metodologia de ensaio varia dos provetes isolados para o provete-parede e o número de ensaios que foi realizado é reduzido para se estabelecer uma relação fidedigna.

No entanto, tendo em conta as condições e o número de ensaios efetuados nesta campanha, a soma da média dos provetes isolados de tijolo de formato 30x20x11 e 30x20x15 é aproximadamente 25% superior à média do provete-parede.

Contudo, é positivo fazer este tipo de ensaios e confronto de resultados, pois permite que em estaleiro com um ensaio num provete isolado seja possível estimar o valor esperado nas paredes onde se está a efetuar a aplicação desta técnica de reforço.

5.2.2.2. Tijolos novos

Os resultados dos ensaios de força de arranque no provete-parede construído com tijolos novos estão indicados na Tabela 22.

Tabela 22 - Resultados do provete-parede de tijolo novo – Sistema *DRYFIX*

Provete nº	Força de Arranque (N)
1	950
2	700
3	700
4	300
5	300
6	600
7	400
8	400
9	450
10	400
11	750
12	2000
Média	662,5
Desvio Padrão	467,2
Coeficiente de Variação	71%

Com os resultados da Tabela 20 e da Tabela 22 construiu-se o gráfico representado na Figura 44.

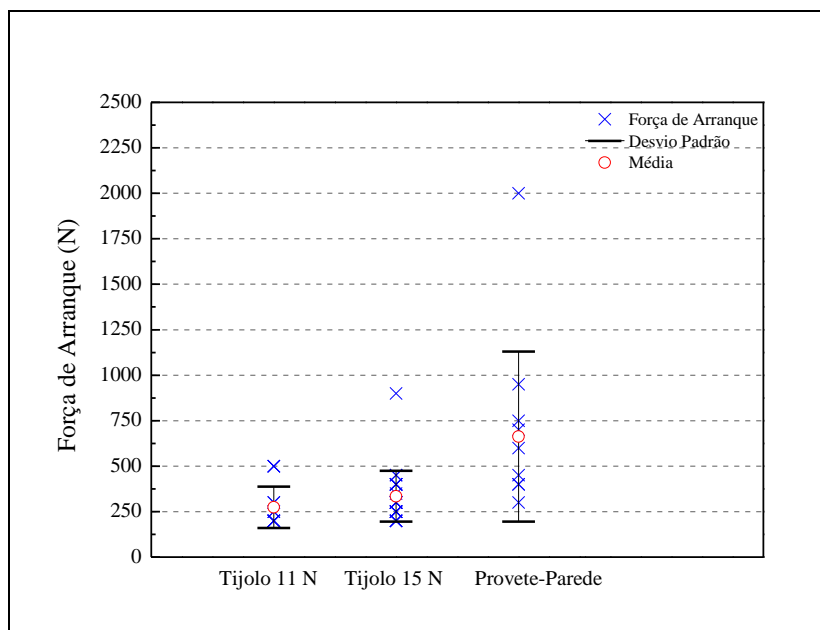


Figura 44 – Força de arranque nos provetes isolados e no provete-parede – Sistema *DRYFIX*

O valor da força de arranque no provete-parede, tal como se verificou na secção anterior para tijolos velhos, é em média superior ao valor dos provetes isolados de tijolo de formato 30x20x11 e de formato 30x20x15 como se constata da Figura 44. O acréscimo do provete-parede relativamente ao resultado do tijolo de formato 30x20x15 é 98% e relativamente ao tijolo de formato 30x20x11 é de 142%.

5.2.3. Relação da força de arranque com a tensão de compressão nos tijolos de formato 30x20x11

No sentido de avaliar a influência da qualidade dos tijolos nos resultados obtidos nos ensaios de arranque, achou-se conveniente construir um gráfico onde fosse possível visualizar a relação da força de arranque com a tensão de compressão, que é um indicador de qualidade do tijolo.

Para tal, através da Tabela 11, Tabela 12, Tabela 19 e Tabela 20 construiu-se o gráfico representado na Figura 45.

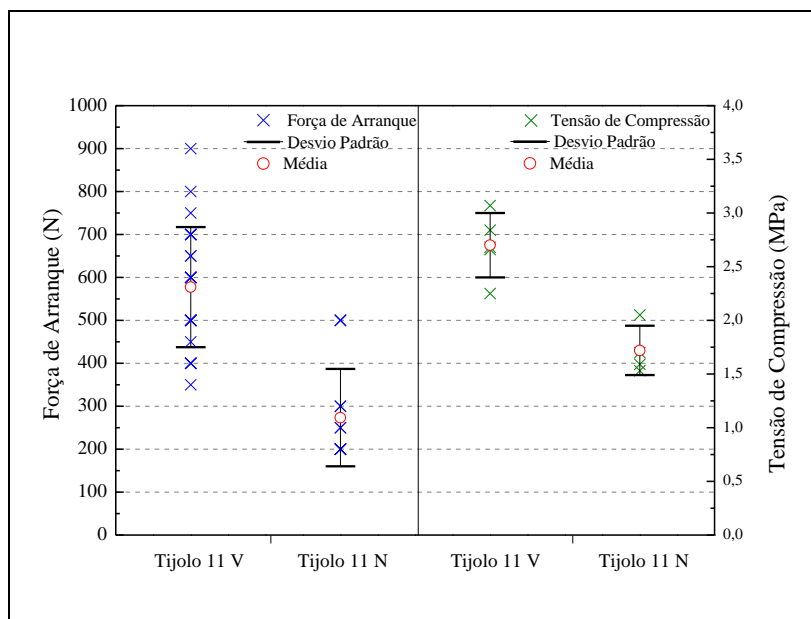


Figura 45 – Relação da força de arranque com a tensão de compressão – Sistema *DRYFIX*

A partir da análise do gráfico pode-se observar que os tijolos velhos apresentam, em média, valores mais elevados de tensão de compressão do que os novos, o que leva a afirmar que os velhos são melhores do que os novos.

Como o valor médio da força de arranque dos tijolos velhos é superior ao dos novos, pode-se nesse sentido afirmar que a qualidade dos tijolos tem grande influência nos resultados obtidos pelos ensaios de arranque, uma vez que os melhores resultados do arranque ocorreram nos tijolos de melhor qualidade.

5.2.4. Relação da força de arranque com a tensão de compressão nos tijolos de formato 30x20x15

Com o intuito de verificar a relação entre a força de arranque e a tensão de compressão nos tijolos de formato 30x20x15, construiu-se através da Tabela 9, Tabela 10, Tabela 19 e Tabela 20 o gráfico representado na Figura 46.

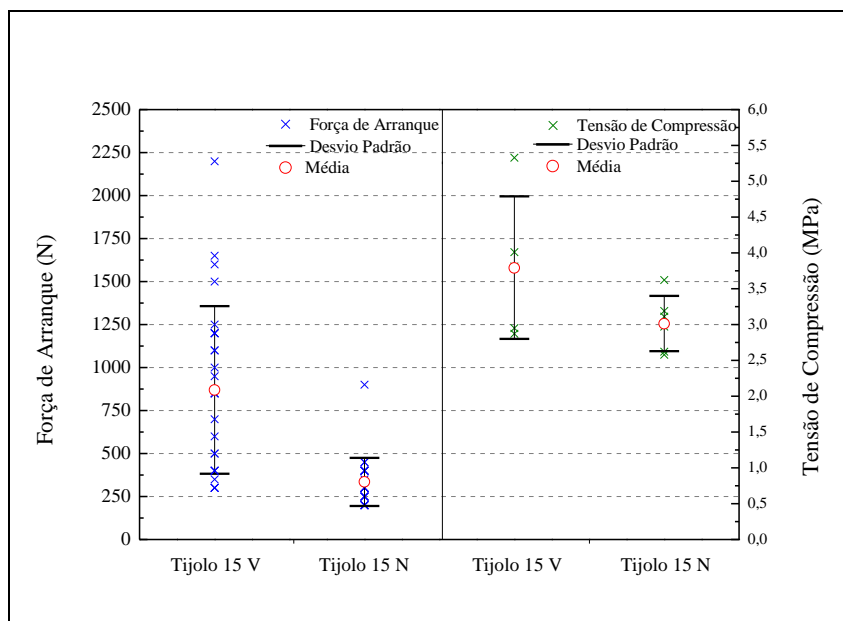


Figura 46 – Relação da Força de Arranque com a Tensão de Compressão – Sistema *DRYFIX*

Analisando o gráfico, constata-se que os tijolos de formato 30x20x15 velhos possuem, em média, valores mais elevados para a tensão de compressão.

Outra constatação que se pode obter da análise do gráfico, é que, também nos tijolos de formato 30x20x15 os melhores resultados para a força de arranque surgem com os tijolos que apresentam valores mais elevados de tensão de compressão, situação que já se verificava na secção anterior, para os tijolos de formato 30x20x11.

A partir dos registos da Figura 45 e da Figura 46 procurou-se definir uma expressão através da qual seja possível determinar a força de arranque conhecendo a resistência à compressão dos tijolos. Desta forma após uma análise cuidada chegou-se à seguinte expressão:

$$f_a = \frac{k \times \sigma_c \times 100}{(mm^2)^{-1}} \quad (5)$$

Em que:

- f_a – Força de arranque (N);
- σ_c – Tensão de compressão (N/mm²);
- $\begin{cases} k = 2.2, & \text{para tijolos velhos} \\ k = 1.3, & \text{para tijolos novos} \end{cases}$

No entanto, é importante referir que a campanha experimental foi feita sobre um número reduzido de provetes e por isso, os valores de “ k ” poderão não ser os mais precisos, contudo, esta expressão torna-se útil para estimar, através de um simples cálculo em obra o valor expectável para a força de arranque com natural margem de erro.

Para determinar um valor de “ k ” mais fiável seria necessário efetuar uma campanha experimental com um número muito significativo de provetes por forma a minimizar a incerteza na determinação deste parâmetro.

5.2.5. Tipos de rotura

Durante os ensaios efetuados ao longo da campanha experimental para a técnica de grampeamento *Dryfix*, obteve-se sempre a rotura por escorregamento do varão no tijolo.

5.3. Sistema de grampeamento pós-construção – *CemenTie*

5.3.1. Tipos de rotura

Ao longo dos ensaios de arranque efetuados nos provetes em que se usou a técnica de pós-grampeamento *CemenTie*, foi possível identificar três tipos de rotura:

1. Rotura Frágil (RF): este tipo de rotura surge quando durante o ensaio, ocorre uma perda de aderência brusca do sistema de grampeamento ao tijolo, devido ao facto deste ter perdido a sua capacidade de resistência, acabando por ceder. Na Figura 47 – a) pode-se observar um exemplo deste fenómeno.
2. Rotura por escorregamento do varão (REVa): este tipo de rotura surge quando o varão de aço começa a escorregar na camisa de *grout*, não ocorrendo portanto cedência do tijolo. Na Figura 47 – b) verifica-se que durante o ensaio de arranque apenas ocorreu o escorregamento do varão dentro da camisa, visto que nem o tijolo fragilizou, nem a camisa se deslocou da sua posição inicial.
3. Rotura Geral (RG): este tipo de rotura ocorre quando o tijolo vai fragilizando gradualmente e o sistema (camisa+varão) vai escorregando ao longo dos septos. Na Figura 47 – c) pode-se observar o escorregamento do sistema relativamente aos septos do tijolo e é bastante perceptível o escorregamento sofrido, uma vez que, a posição inicial da camisa era junto ao septo exterior do tijolo de formato 30x20x11 (septo exterior da direita).



Figura 47 – Tipos de rotura: a) Rotura Frágil; b) Rotura por escorregamento do varão; c) Rotura geral

5.3.2. Comparação dos provetes de tijolo isolados

Na Tabela 23 e na Tabela 24 apresentam-se os resultados da força de arranque nos provetes isolados velhos e novos, assim como o tipo de rotura e algumas observações que se consideram pertinentes acerca do estado dos tijolos antes e após o ensaio.

Tabela 23 – Resultados dos provetes isolados de tijolo velho com sistema *CEMENTIE* (...)

Proвете nº	Força de Arranque (N)		Tipo de Rotura		Fragilizações Observadas	
	Tijolo de 11	Tijolo de 15	Tijolo de 11	Tijolo de 15	Tijolo de 11	Tijolo de 15
1	1400	2350	RF	RF	-	F.T
2	600	2250	RF	RF	-	F.L
3	850	2800	RG	REVa	-	F.L; S.F
4	850	2400	RG	REVa	S.F	-
5	2300	2200	REVa	RF	-	F.L; S.F
6	1200	3000	RF	-	-	-
7	700	1900	RG	RG	-	F.L; S.F
8	1400	2900	RF	REVa	-	F.L; S.F
9	1000	2250	RG	RF	-	F.L; S.F
10	750	800	RF	RF	-	F.L; S.F

Tabela 23 – (...) Resultados dos provetes isolados de tijolo velho com sistema *CEMENTIE*

11	1200	2000	RG	RF	F.L	-
12	1200	2500	RF	REVa	-	-
13	2400	2100	REVa	REVa	-	-
14	2150	1500	RF	RF	-	S.F
15	2250	1900	REVa	RG	-	-
16	1750	1200	RG	RG	-	S.F
17	2350	1900	REVa	RG	-	S.F
18	2500	2300	REVa	REVa	-	-
19	550	2600	RG	REVa	-	-
20	2750	2000	REVa	RF	F.T	-
21	2300	2400	REVa	REVa	-	F.L; S.F
22	700	2100	RF	RF	Bolbo mal formado ¹	-
23	1100	2350	RG	REVa	-	S.F
24	1100	1800	RG	RF	Bolbo mal formado ¹	F.L
25	2100	2900	RF	RF	-	F.L
Média	1498,0	2176,0				
Desvio Padrão	708,4	513,8				
Coefficiente de Variação	47%	24%				

¹ Bolbo mal formado por falta de expansão da camisa, ineficiência do bolbo.

Tabela 24 – Resultados dos provetes isolados de tijolo novo com sistema *CEMENTIE* (...)

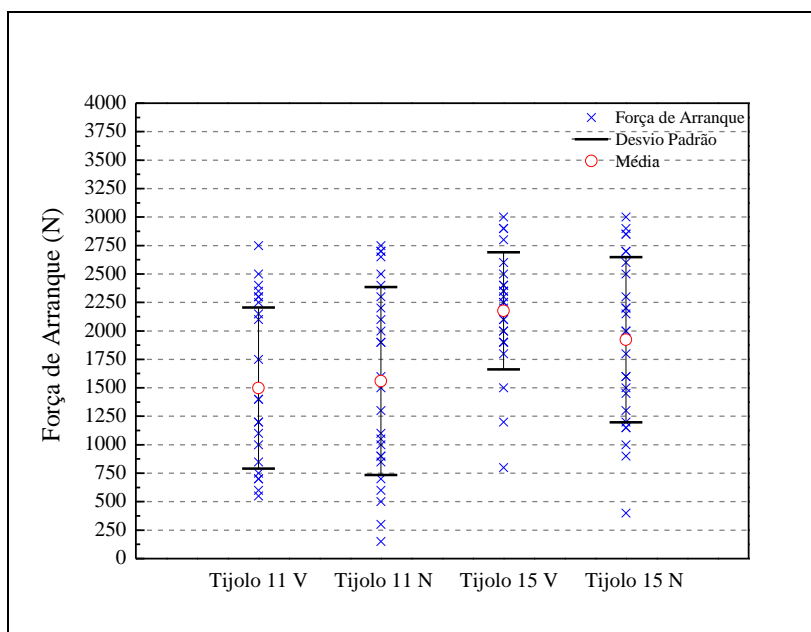
Proвете n°	Força de Arranque (N)		Tipo de Rotura		Fragilizações Observadas	
	Tijolo de 11	Tijolo de 15	Tijolo de 11	Tijolo de 15	Tijolo de 11	Tijolo de 15
1	900	2500	RG	RF	S.F(septo partido no local do bolbo)	-
2	1500	2200	RG	REVa	-	-
3	1100	2000	RG	RF	-	-
4	1000	1300	RG	RG	-	F.T; S.F
5	900	1200	RF	RG	S.F	F.T; S.F
6	2200	2700	RF	RF	S.F	-
7	2650	1000	REVa	RF	F.T	F.T
8	1900	1600	RF	RF	-	-
9	2300	1150	RF	RF	F.T	-
10	1300	1450	RF	RF	S.F (bolbo mal formado e perfuração da camisa)	P.M; F.T
11	2400	1150	RF	RF	-	F.L; S.F
12	2100	2150	REVa	RF	S.F	F.T; F.L; S.F; P.M
13	2700	2300	REVa	RF	F.T; F.L	F.T; S.F
14	2750	1800	REVa	RF	-	F.T
15	1900	2200	RF	REVa	S.F	F.T
16	150	1500	RG	RF	Varão fora da camisa ¹	-
17	850	2700	RG	REVa	Varão fora da camisa ¹ e septo partido	-
18	2700	3000	REVa	RF	S.F	F.T
19	300	2600	RG	REVa	F.T; F.L; S.F Bolbo mal formado	-
20	2000	400	RF	RG	S.F	F.T; S.F Bolbo mal formado
21	2500	2000	REVa	RF	S.F	-
22	1600	2850	RF	RF	F.T.P	-

Tabela 24 – (...) Resultados dos provetes isolados de tijolo novo com sistema *CEMENTIE*

23	500	1600	RG	RF	-	-
24	700	900	RG	RG	-	-
25	600	2900	RG	REVa	-	-
26	1050	2850	RF	REVa	-	-
Média	1559,6	1923,1				
Desvio Padrão	826,1	725,0				
Coeficiente de Variação	53%	38%				

¹ Durante a aplicação do sistema, na fase de introdução do varão, este não foi colocado correctamente e ficou fora da camisa.

Na Figura 48 está representado o gráfico que contém os dados das tabelas anteriores e pretende-se com este, relacionar os resultados dos provetes isolados de tijolos velhos com os provetes de tijolos novos.

Figura 48 – Força de arranque em provetes de tijolos velhos e tijolos novos – Sistema *CEMENTIE*

Após a análise do gráfico, é possível afirmar que surgiram alguns resultados inesperados. O primeiro dos quais diz respeito ao facto de que em média, os valores da força de arranque são superiores nos tijolos de formato 30x20x15, tanto nos provetes de tijolos novos como nos de tijolos velhos, comparativamente com os tijolos de formato 30x20x11.

Esperava-se que os resultados dos tijolos de formato 30x20x11 fossem superiores pelo facto do bolbo de *grout* formado ser maior uma vez que a injeção de *grout* nas camisas é mais eficaz e ainda devido ao uso de camisas fechadas na extremidade oposta ao local da injeção, o que proporciona uma maior pressão na injeção e impede a saída de *grout* formando um bolbo eficaz. Pelo contrário, as camisas colocadas no tijolo de formato 30x20x15, como são furadas nas duas extremidades, para permitir a passagem do varão, permitem a saída de algum *grout*, conduzindo à formação de bolbos mais pequenos e de formato irregular.

5.3.3. Comparação dos provetes isolados com o provete-parede

5.3.3.1. Tijolos velhos

Os resultados dos ensaios de arranque no provete-parede construído com tijolos velhos, apresentam-se na Tabela 25.

Tabela 25 – Resultados do provete-parede de tijolo velho – Sistema *CEMENTIE*

Proвете nº	Força de Arranque (N)	Observações
1	2911	Escorregamento das camisas
2	1311	Escorregamento do varão
3	1411	Escorregamento da segunda camisa
4	-	-
5	2311	-
6	2611	Escorregamento do varão
7	3111	Bolbo mal formado na segunda camisa
8	2111	-
9	3011	-
10	4111	Varão escorregou nas duas camisas
11	4711	Rotura frágil no tijolo de 15
12	2011	-
Média	2692,8	
Desvio Padrão	1044,8	
Coefficiente de Variação	39%	

O gráfico da Figura 49 foi construído através da Tabela 23 e da Tabela 25.

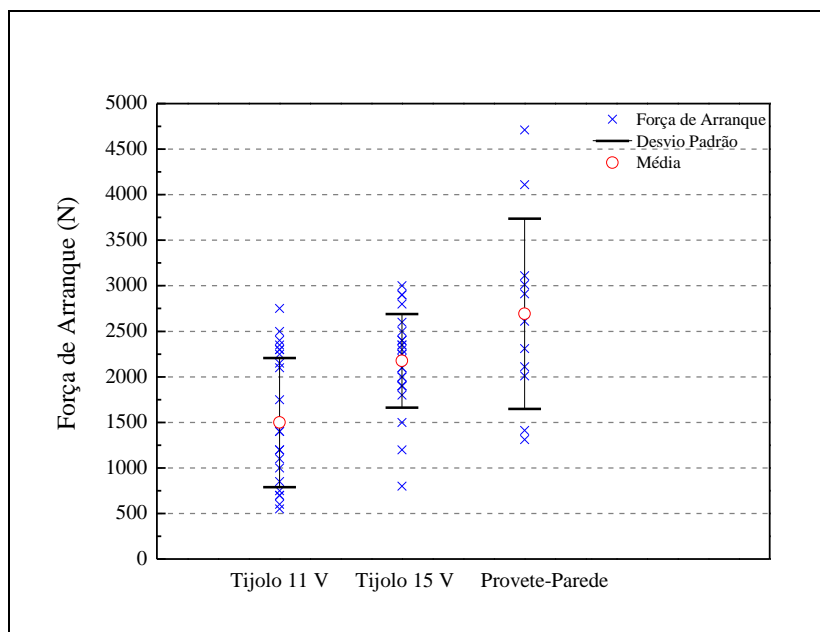


Figura 49 – Força de arranque nos provetes isolados e no provete-parede – Sistema *CEMENTIE*

Através da análise da Figura 49 constata-se que o valor médio da força de arranque no provete-parede é superior ao valor médio da força de arranque nos provetes isolados, como já seria esperado.

Registou-se um acréscimo de 24% e de 80% do valor médio da força de arranque do provete-parede em relação aos provetes isolados de tijolo de formato 30x20x15 e de tijolo de formato de 30x20x11, respectivamente.

Da análise deste confronto, e comparando com os resultados da Figura 43 que dizem respeito à técnica *Dryfix*, constata-se que os acréscimos do valor médio da força de arranque do provete-parede para os provetes isolados na técnica *CemenTie* são menores do que na técnica *Dryfix*.

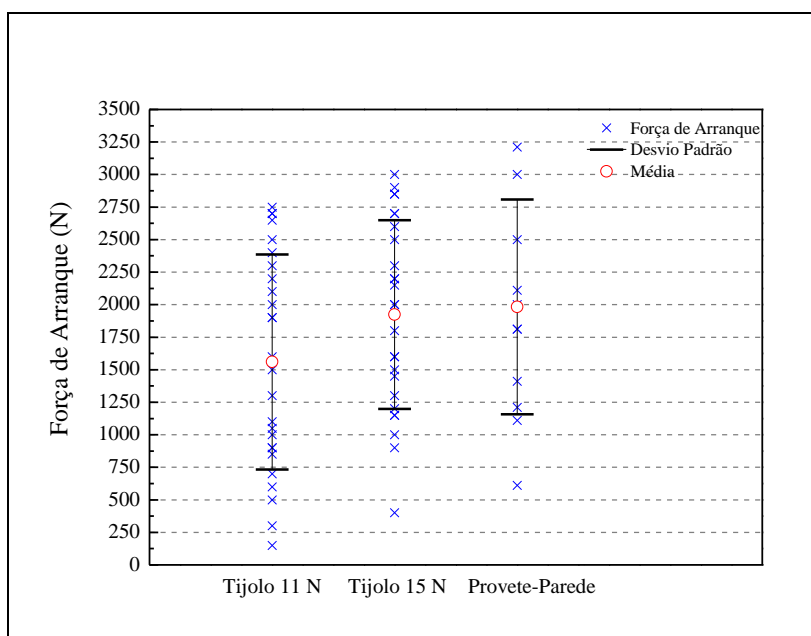
5.3.3.2. Tijolos novos

Na Tabela 26 apresentam-se os resultados dos ensaios de força de arranque no provete-parede construído com tijolos novos.

Tabela 26 - Resultados do provete-parede de tijolo novo – Sistema *CEMENTIE*

Provete nº	Força de Arranque (N)	Observações
1	2500	Escorregamento do varão no dinamómetro
2	3000	Escorregamento do varão no dinamómetro
3	3000	Escorregamento do varão no dinamómetro
4	2000	Escorregamento do varão no dinamómetro
5	1111	-
6	3211	Escorregamento do conjunto
7	1811	Rotura frágil
8	1411	Escorregamento do varão
9	611	O varão estava solto na segunda camisa
10	1811	Escorregamento do varão
11	1211	Escorregamento do varão
12	2111	Escorregamento do varão
Média	1982,3	
Desvio Padrão	824,9	
Coeficiente de Variação	42%	

Através da Tabela 24 e Tabela 26 construiu-se o gráfico representado na Figura 50.

Figura 50 – Força de arranque nos provetes isolados e no provete-parede – Sistema *CEMENTIE*

A partir de uma análise cuidada aos resultados da Figura 50 pode-se afirmar que o valor médio da força de arranque no provete-parede é superior ao valor médio dos provetes isolados. O acréscimo do valor médio do provete-parede é de 3% relativamente ao valor do tijolo de formato 30x20x15 e de 27% relativamente ao tijolo de formato 30x20x11.

Também para os tijolos novos se verifica que na técnica de grampeamento pós-construção *CemenTie* os acréscimos do provete-parede em relação aos provetes isolados são menores do que aqueles que se verificavam na técnica *Dryfix*.

5.3.4. Relação da força de arranque com a tensão de compressão nos tijolos de formato 30x20x11

Da mesma forma que para a técnica *Dryfix* se procurou relacionar a força de arranque com a tensão de compressão dos tijolos, o mesmo será analisado nesta secção, mas agora para a técnica *CemenTie*.

Para isso, através da Tabela 11, Tabela 12, Tabela 23 e Tabela 24 construiu-se o gráfico representado na Figura 51.

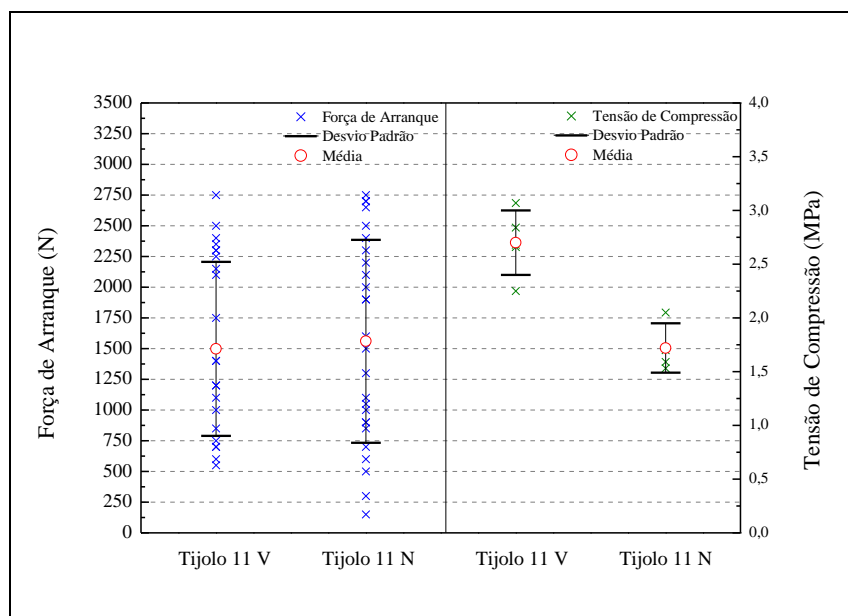


Figura 51 – Relação da força de arranque com a tensão de compressão – Sistema *CEMENTIE*

5.3.5. Relação da força de arranque com a tensão de compressão nos tijolos de formato 30x20x15

Analogamente ao que se fez para os tijolos de formato 30x20x11, também para os tijolos de formato 30x20x15 será analisada a relação que existe entre a força de arranque e a tensão de compressão.

Para tal, construiu-se o gráfico representado na Figura 52, através da Tabela 9, Tabela 10, Tabela 23 e da Tabela 24.

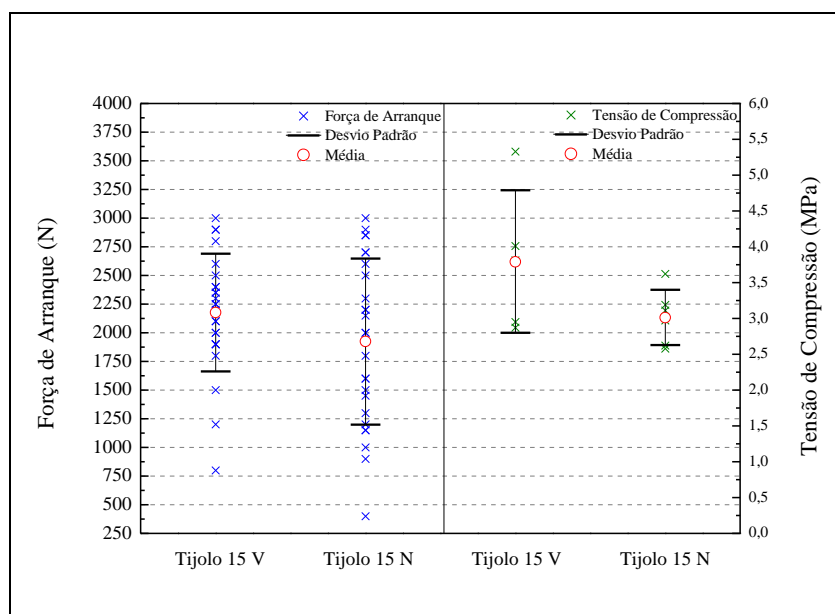


Figura 52 – Relação da força de arranque com a tensão de compressão – Sistema *CEMENTIE*

Numa primeira análise aos resultados da Figura 51 e da Figura 52 é possível constatar que nesta técnica de pós-grampeamento o facto de um tipo de tijolo apresentar melhor qualidade (maior resistência à compressão) não significa que apresentará melhores resultados nos ensaios de arranque, facto que pode ser comprovado pelos resultados dos tijolos de formato 30x20x11, onde se pode observar que os tijolos de formato 30x20x11 velhos possuem uma maior resistência à compressão, mas no entanto são os tijolos novos que apresentam melhores resultados nos ensaios de arranque.

Na técnica de grampeamento pós-construção *CemenTie*, contrariamente à técnica do *Dryfix*, que funciona por atrito do varão no tijolo, o varão está inserido dentro de camisas preenchidas com *grout* cimentício, e desta forma a resistência ao arranque não vai depender fortemente da qualidade do tijolo, mas sim da quantidade e qualidade do *grout* injetado, da correta aplicação do sistema e da correta formação dos bolbos de *grout*.

Capítulo 6

Segunda campanha experimental

6 Segunda campanha experimental

- 6.1. Enquadramento
- 6.2. Preparação dos provetes
- 6.3. Aplicação do sistema de grampeamento pós-construção – *CemenTie*
- 6.4. Ensaios de arranque
- 6.5. Resultados da segunda campanha experimental
 - 6.5.1. Provetes de tijolos novos
 - 6.5.2. Provetes de tijolos velhos
- 6.6. Controlo da qualidade das soluções

6. SEGUNDA CAMPANHA EXPERIMENTAL

6.1. Enquadramento

A realização de uma segunda campanha experimental, que inicialmente não estava prevista, foi planeada com o intuito de esclarecer algumas dúvidas que surgiram durante a primeira campanha, tais como os modos de rotura e os fenómenos de escorregamento.

Esta nova campanha de ensaios apenas foi feita para o sistema de grampeamento pós-construção *CemenTie*, visto que não se justificava a sua realização para o *Dryfix*, uma vez que, este sistema funciona por atrito e apresenta sempre o mesmo tipo de rotura.

Desta forma, prepararam-se 12 provetes isolados com recurso a tijolos novos e 12 com recurso a tijolos velhos.

6.2. Preparação dos provetes

Na preparação dos provetes para a segunda campanha experimental utilizou-se a mesma técnica da primeira campanha, da montagem em linha. A única diferença diz respeito à utilização de outro tipo de material para servir de espaçador entre os dois tijolos por forma a representar o espaçamento da caixa de ar, visto que para o tipo de ensaio a realizar seria necessário um material muito resistente. Para tal usaram-se calços resultantes do corte de provetes de betão à medida, como se pode observar na Figura 53.



Figura 53 – Calços de betão

De seguida iniciou-se a montagem em linha através da colocação dos tijolos de formato 30x20x11, dos calços de betão que servem de espaçador e por fim os tijolos de formato 30x20x15, como se pode observar na Figura 54. A estrutura final dos provetes está ilustrada na Figura 55.



Figura 54 – Montagem em linha dos provetes isolados

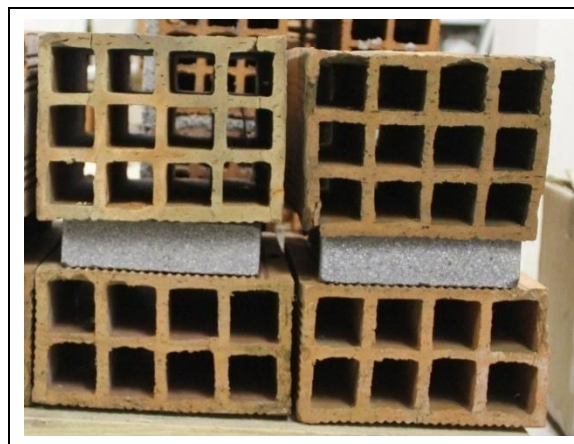


Figura 55 – Estrutura final dos provetes isolados

6.3. Aplicação do sistema de grampeamento pós-construção *CemenTie*

Para a aplicação do sistema de grampeamento *CemenTie* nestes provetes seguiram-se exatamente as mesmas etapas descritas na secção 4.4.2, efetuando-se apenas uma pequena alteração na segunda camisa para facilitar a passagem do *grout* e consequente enchimento. Na Figura 56 é possível visualizar a alteração efetuada na ponta da segunda camisa, que basicamente consistiu em cortar a base da camisa de modo a que o *grout* pudesse passar e formar o bolbo.

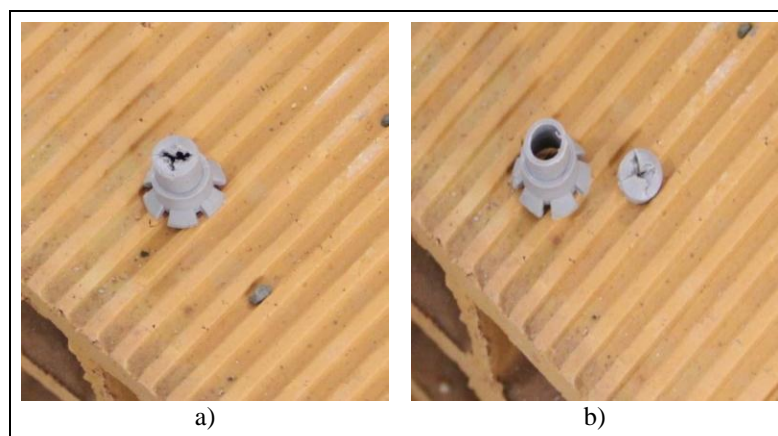


Figura 56 – Alteração da segunda camisa de enchimento: a) Antes; b) Depois

6.4. Ensaios de arranque

Nesta campanha experimental, os ensaios de arranque aos provetes isolados, foram executados com outro tipo de equipamento e com uma metodologia de arranque um pouco diferente da usada nos provetes isolados da primeira campanha de ensaios.

Desta forma, para a realização dos ensaios usou-se um atuador hidráulico de 300kN, com a particularidade de se ter adaptado uma célula de carga de 25kN, como se pode observar na Figura 57. Na extremidade desta célula colocaram-se duas garras metálicas para prender uma peça de aço que agarra o varão helicoidal do provete, (ver Figura 58).

Importa ainda referir que foi necessário desenvolver e produzir a peça de aço adaptada às garras metálicas, para secções pequenas como é o caso dos varões de 6 e 8 mm.

O atuador hidráulico foi fixo no pórtico, como se pode observar na Figura 59.

Ao contrário do que foi feito na primeira campanha experimental, em que para o ensaio dos provetes isolados se cortou o varão entre o tijolo de formato 30x20x11 e o tijolo de formato 30x20x15 e seguidamente ensaiaram-se em separado, nesta campanha os ensaios de arranque serão efetuados com os dois tijolos ligados pelo varão por forma a que seja possível obter o valor da força de arranque do conjunto. Desta forma o provete é colocado dentro do pórtico, fixado através de grampos a uma viga metálica e de seguida efetua-se o arranque do varão com o atuador, (ver Figura 60.) Na Figura 61 pode-se observar o esquema representativo do modelo de ensaio. É de salientar que este ensaio de arranque se efetuou com uma velocidade de 0,2 mm/s.



Figura 57 – Atuador hidráulico de 300kN com célula de carga de 25kN



Figura 58 – Garras metálicas e peça de aço para agarrar os varões



Figura 59 – Fixação do actuador hidráulico



Figura 60 – Setup do ensaio de arranque

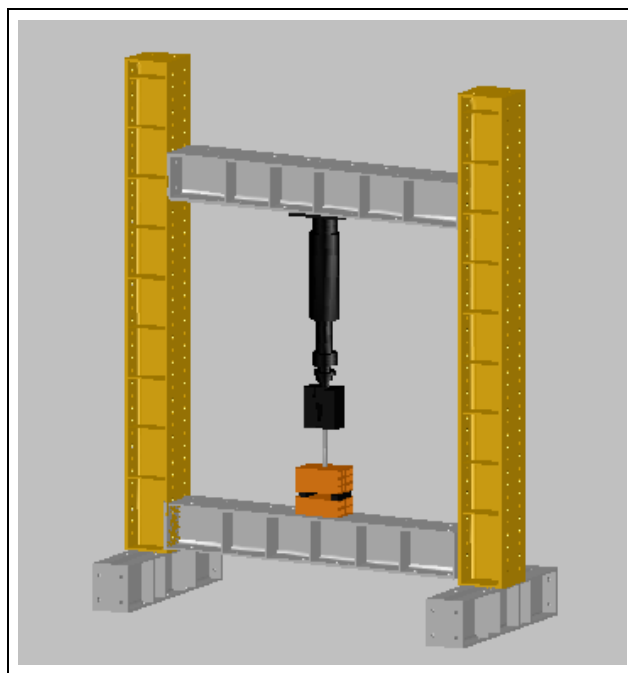


Figura 61 – Esquema representativo do modelo de ensaio

6.5. Resultados da segunda campanha experimental

Após a conclusão dos ensaios, procedeu-se de seguida ao tratamento dos resultados obtidos e ao registo de algumas observações que se consideraram pertinentes ao longo da realização dos ensaios de arranque com controlo de deslocamento.

Através dos dados obtidos construíram-se gráficos Força de Arranque-Deslocamento para cada um dos provetes ensaiados com o intuito de se perceber melhor o comportamento dos vários elementos do sistema de grampeamento pós-construção, camisas de enchimento e varão helicoidal.

Depois de uma análise cuidada aos resultados obtidos para cada provete, foi possível catalogar tendo em conta o comportamento registado ao longo do ensaio em termos de força de arranque, escorregamento e deslocamento global atingido.

É ainda de salientar que os registos seguintes dos ensaios são irregulares devido à natureza do ensaio e da geometria do tijolo. Como o tijolo é de furação horizontal não é considerado um material homogéneo e portanto, ao longo do ensaio sofre constantes reajustes que proporcionam a irregularidade de registo que é possível visualizar em cada provete.

6.5.1. Provetes de tijolos novos

Nos provetes isolados de tijolo novo foi possível identificar 3 grupos diferentes, sendo que no primeiro grupo se encontram os provetes PN_04, PN_05, PN_06 e PN_07, (ver Figura 62), no segundo grupo os provetes PN_02, PN_03, PN_09 e PN_10, (ver Figura 64) e por último, no terceiro grupo os provetes PN_01, PN_08, PN_11 e PN_12 (ver Figura 66).

Antes de se tecer qualquer comentário aos resultados obtidos importa referir o significado de alguns símbolos usados na Figura 62, tais como “ $f_{a\text{ máx.}}$ ” que corresponde ao valor máximo da força de arranque obtido ao longo do ensaio, “ D_y ” corresponde ao deslocamento associado à cedência teórica, “ D_u ” representa o deslocamento máximo correspondente à rotura teórica e por último “ μ ” é o fator de ductilidade que representa o grau de deformação que um material suporta até à sua rotura e foi obtido através do quociente entre o D_u e o D_y .

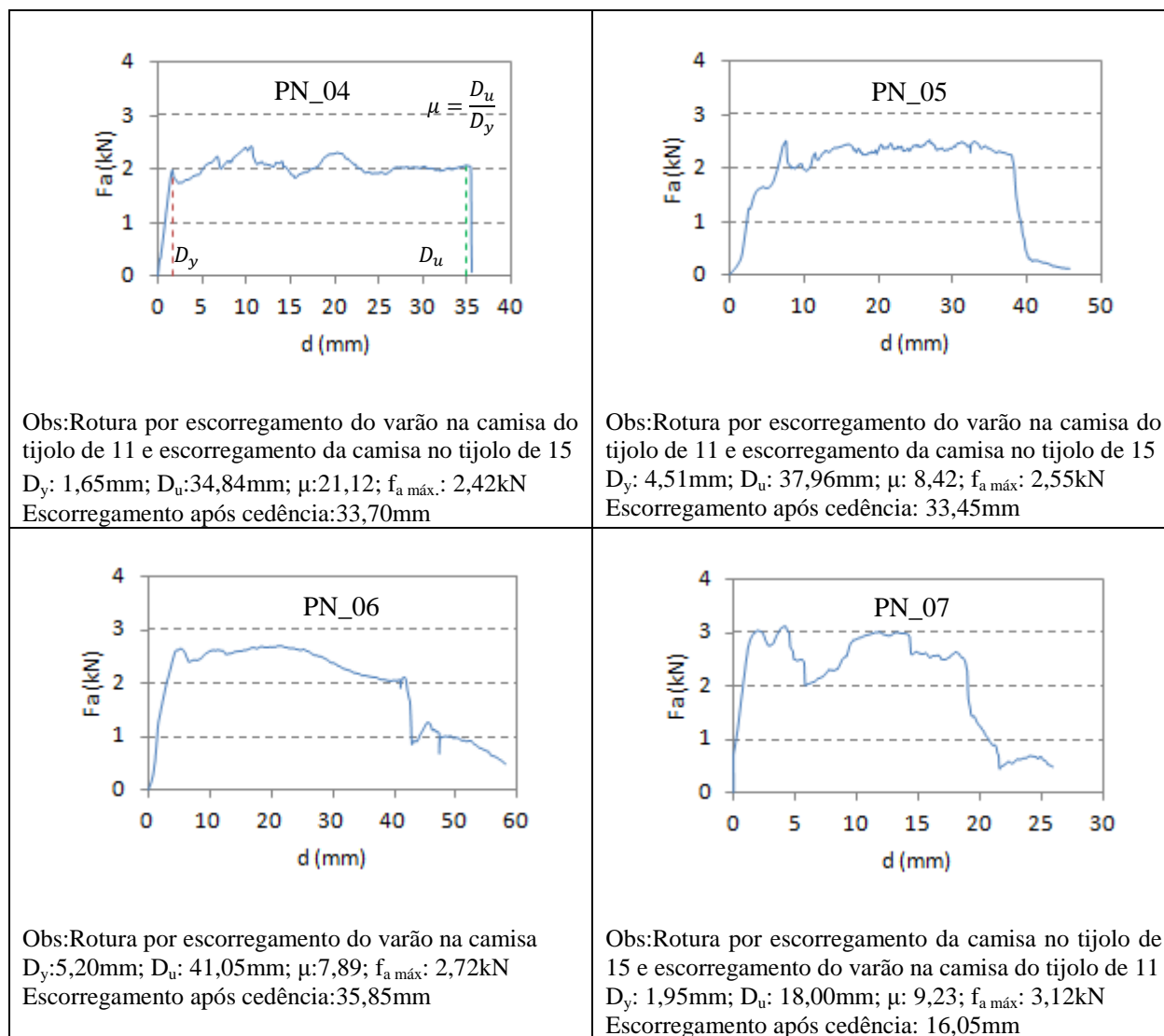


Figura 62 – Resultados dos provetes de tijolo novo – Grupo 1

Neste grupo de provetes ensaiados obteve-se, em média, um valor de 2,70 kN para a força de arranque e de 11,74 para a ductilidade. É de referir ainda que após a ocorrência do primeiro momento de cedência a força de arranque sofre decréscimos na ordem dos 2,5 até 12%.

O tipo de rotura obtido nestes provetes foi sempre uma rotura por escorregamento do varão nas camisas, como se pode observar nos registos de ensaio, onde se verifica também a estabilização da força de arranque próximo do valor máximo ao longo do deslocamento.

Quando ocorre a diminuição brusca da força de arranque representa o momento em que o varão se solta da camisa, ocorrendo a rotura do sistema.

Na Figura 63 comprova-se o que foi descrito anteriormente, uma vez que no fim do ensaio foi possível verificar que o varão se tinha desprendido completamente da camisa inserida no tijolo de formato 30x20x11.



Figura 63 – Desprendimento do varão da camisa inserida no tijolo de formato 30x20x11

O escorregamento do varão ocorreu essencialmente na camisa inserida no tijolo de formato de 30x20x11, facto que pode ser explicado devido à formação irregular e fissuração dos bolbos, comprometendo assim a capacidade necessária para ancorar o varão no seu interior.

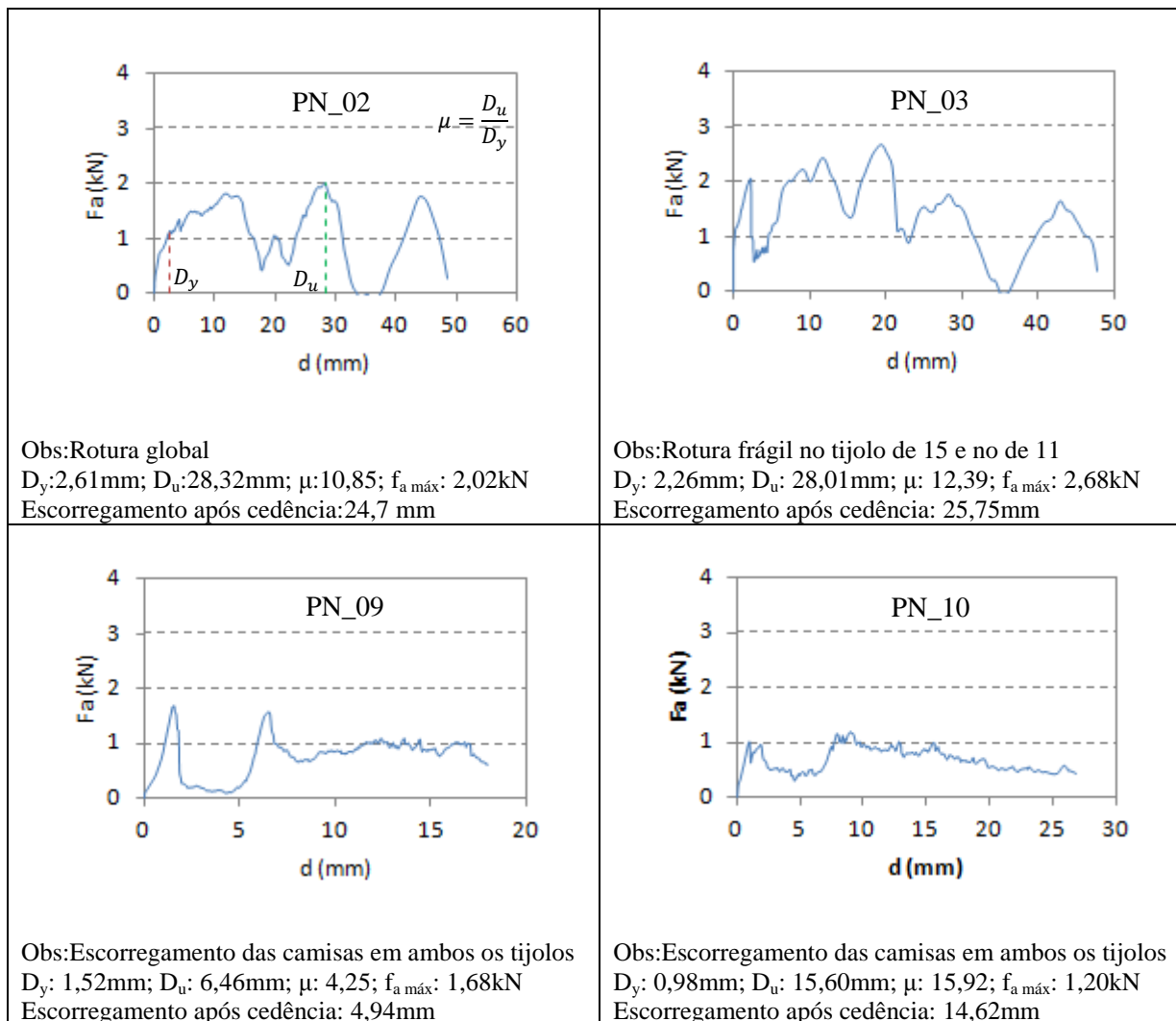


Figura 64 – Resultados dos provetes de tijolo novo – Grupo 2

Relativamente ao segundo grupo de provetes, o valor médio obtido para a força de arranque foi de 1,90 kN, e para a ductilidade de 10,78. Em relação à redução que a força de arranque sofreu após a cedência teórica, neste grupo foi maior, comparando com o primeiro, variando entre 5 e 89%.

Os registos destes provetes apresentam um comportamento muito irregular com constantes subidas e descidas da força de arranque, significando que nestes casos ocorreu o escorregamento das camisas nos tijolos, como se pode observar na Figura 65 – a, em que se observa escorregamento da camisa inserida no tijolo de formato 30x20x11 e na Figura 65 – b onde se verifica o escorregamento da camisa inserida no tijolo de formato 30x20x15. À medida que se ia efectuando o ensaio de arranque a força subia até ao ponto em que um septo resistia à passagem do sistema (varão + camisa), quando esse septo rompia, a força de arranque diminuía bruscamente, subindo de seguida quando o sistema encontrava outro septo e assim sucessivamente.

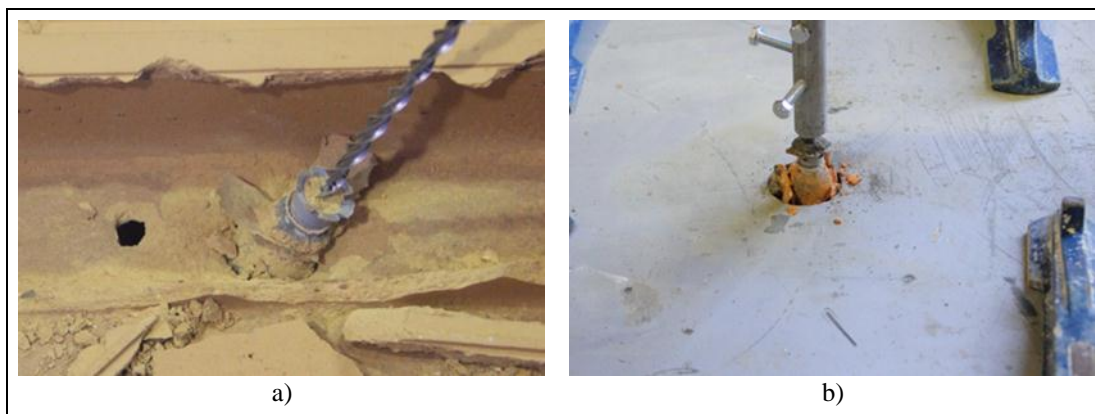


Figura 65 – Escorregamento das camisas no tijolo: a) Escorregamento da camisa inserida no tijolo de formato 30x20x11; b) Escorregamento da camisa inserida no tijolo de formato 30x20x15

Em geral, os bolbos de *grout* destes provetes não possuíam defeitos (fissuras, irregularidades), apresentando uma formação regular e consistente.

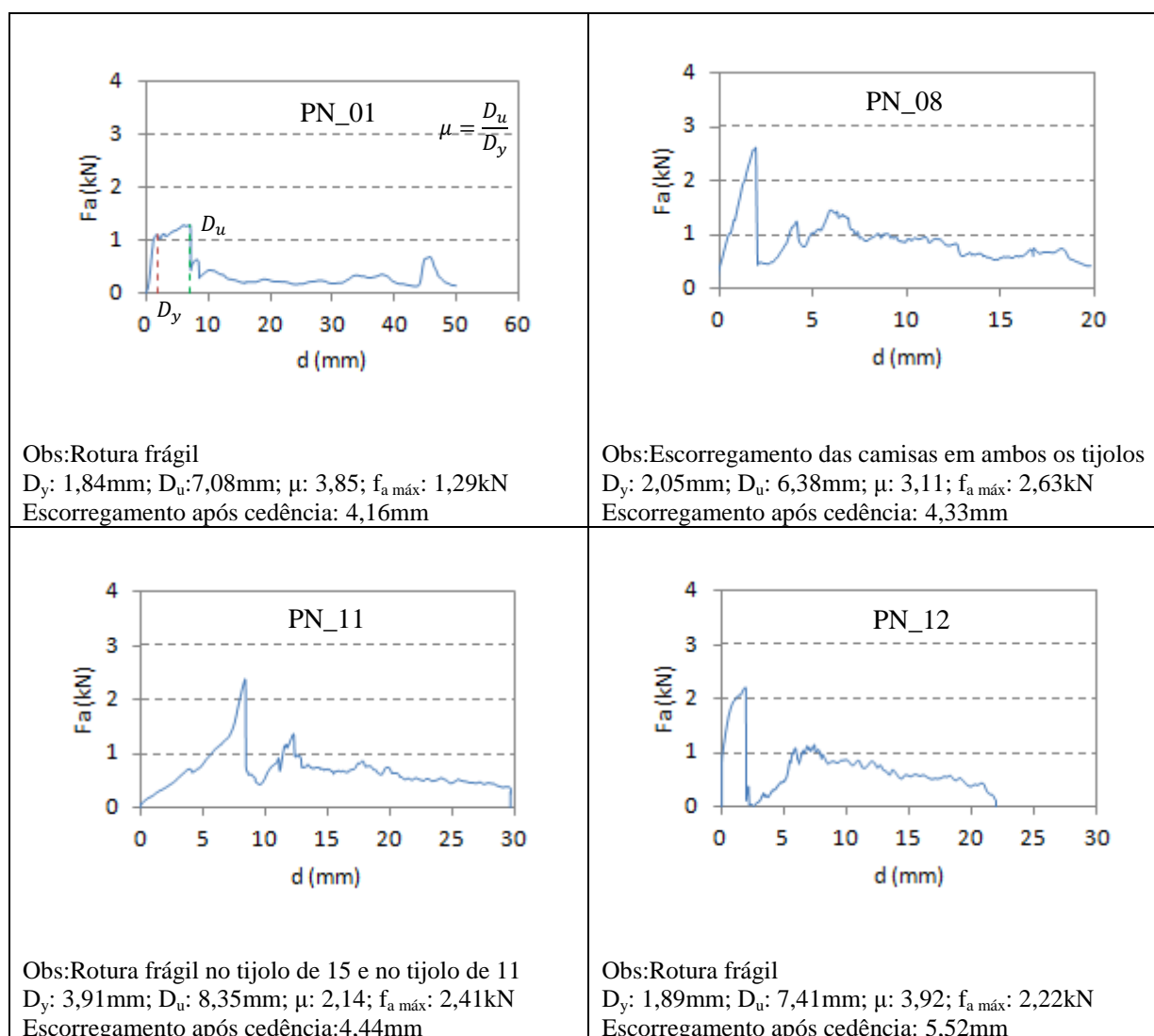


Figura 66 – Resultados dos provetes de tijolo novo – Grupo 3

Quanto ao terceiro grupo dos provetes isolados de tijolo novo, obteve-se um valor médio de 2,14 kN para a força de arranque e de 3,11 para a ductilidade. Note-se que comparativamente com os outros agrupamentos este possui valores mais baixos para a ductilidade, ocorrendo o mesmo para o escorregamento após cedência, onde também se verificam valores bastante baixos. Relativamente à redução da força de arranque que ocorre após cedência, esta localiza-se entre os 7 a 94%.

Uma característica interessante deste terceiro grupo prende-se com o facto de que a partir do momento que se atingiu o valor máximo da força de arranque e ocorre a cedência ou a rotura, o provete já não possui capacidade para que seja possível voltar a registar valores próximos desse máximo.

Este terceiro grupo caracteriza-se pela ocorrência de rotura frágil em praticamente todos os seus provetes, o que nos leva a afirmar que nestes provetes o sistema de grampeamento funcionou bem, visto que a rotura ocorreu por falta de resistência do tijolo.

Ao longo do ensaio verificou-se que os bolbos destes provetes estavam bem formados, apresentando a consistência e a uniformidade necessária (ver Figura 67).

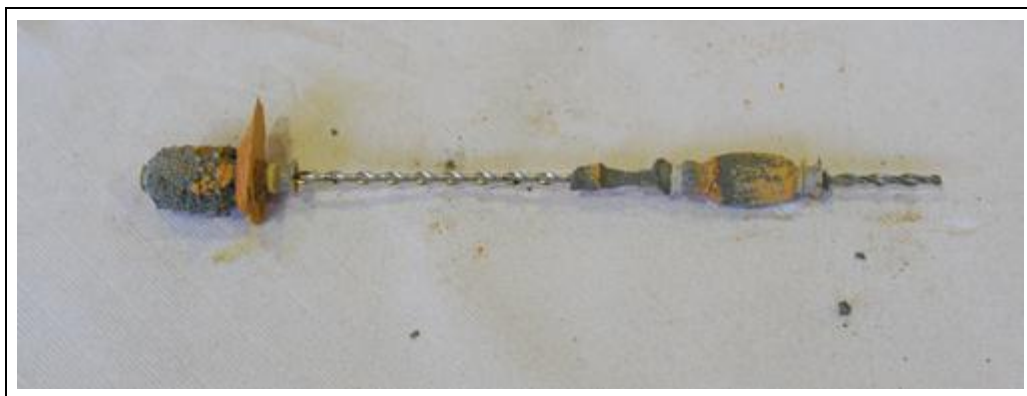


Figura 67 – Formação regular e uniforme dos bolbos de *grout*

Na Tabela 27 apresenta-se uma síntese da informação relativa a cada grupo e a cada provete.

Tabela 27 – Síntese dos resultados obtidos para os provetes isolados de tijolo novo

	Proвете n°	Deslocamento cedência - D_y (mm)	Deslocamento rotura teórica - D_u (mm)	Ductilidade - μ	Escorregamento após cedência (mm)	Força de arranque máxima (kN)
Grupo 1	PN_04	1,65	34,84	21,12	33,70	2,42
	PN_05	4,51	37,96	8,42	33,45	2,55
	PN_06	5,20	41,05	7,89	35,85	2,72
	PN_07	1,95	18,00	9,23	16,05	3,12
Grupo 2	PN_02	2,61	28,32	10,85	24,70	2,02
	PN_03	2,26	28,01	12,39	25,75	2,68
	PN_09	1,52	6,46	4,25	4,94	1,68
	PN_10	0,98	15,60	15,92	1,92	1,20
Grupo 3	PN_01	1,84	7,08	3,85	4,16	1,29
	PN_08	2,05	6,38	3,11	4,33	2,63
	PN_11	3,91	8,35	2,14	4,44	2,41
	PN_12	1,89	7,41	3,92	5,52	2,22

6.5.2. Provetes de tijolos velhos

Por outro lado, nos provetes de tijolos velhos apenas se catalogaram 2 grupos distintos, englobando-se no primeiro grupo os provetes PV_02, PV_03, PV_05, PV_06, PV_08, PV_09, PV_11 e PV_12 (ver Figura 68). O segundo grupo engloba os provetes PV_01, PV_04, PV_07 e PV_10 (ver Figura 70).

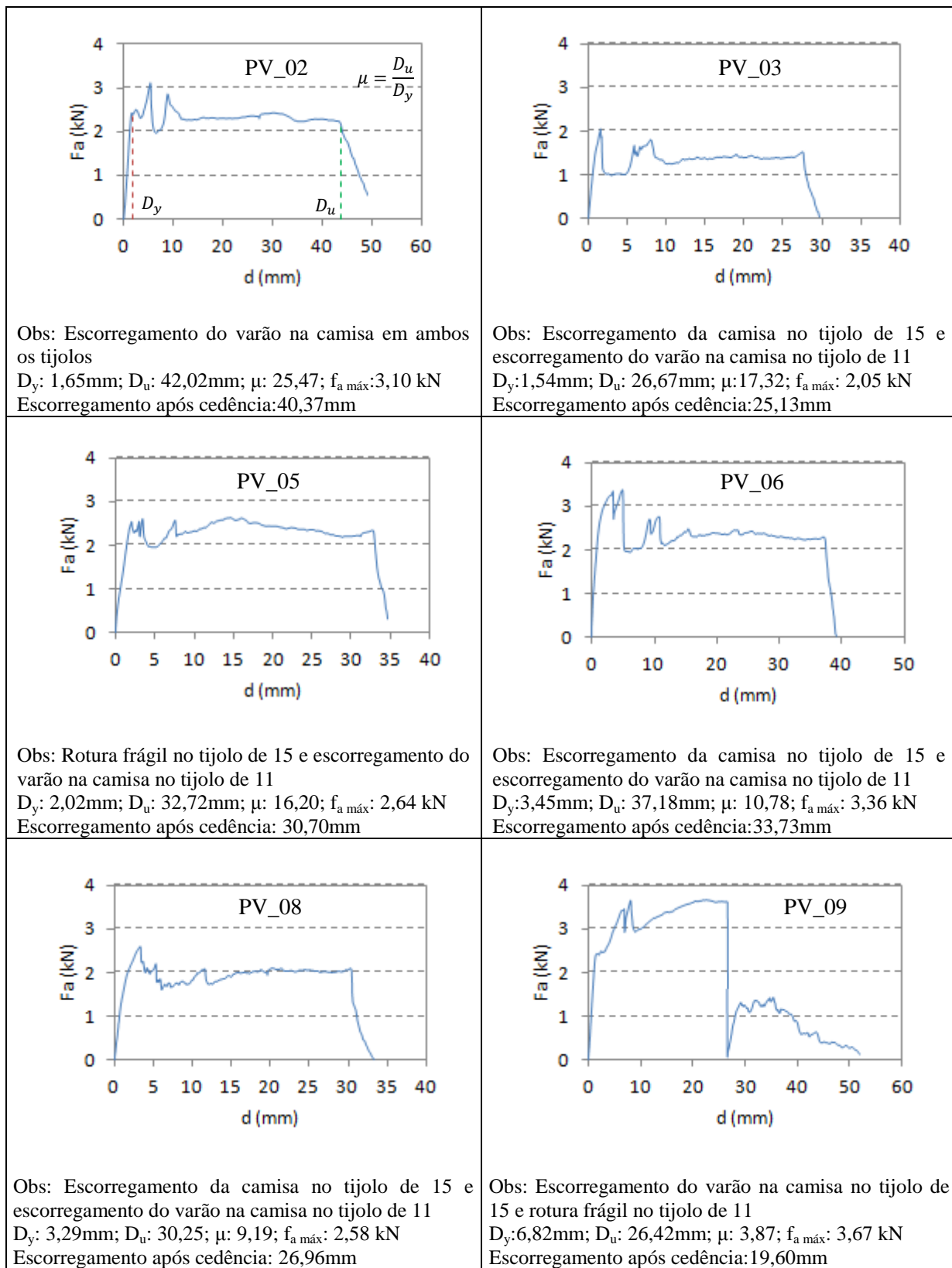


Figura 68 – Resultados dos provetes de tijolo velho – Grupo 1 (...)

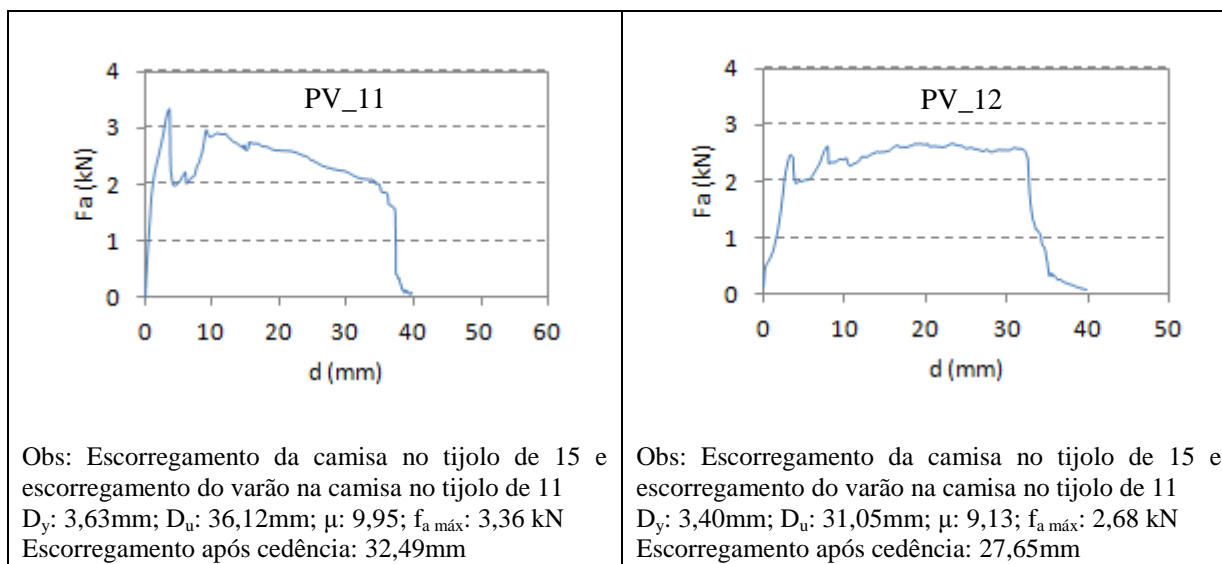


Figura 68 – (...) Resultados dos provetes de tijolo velho – Grupo 1

Neste grupo de provetes obteve-se um valor médio de 2,93 kN para a força de arranque e de 12,74 para a ductilidade. Nestes registos ocorre uma diminuição da força após a cedência na ordem dos 2 a 50%, aumentando logo de seguida como se observa na Figura 68.

Os principais fenómenos observados nos ensaios destes provetes foram o escorregamento da camisa no tijolo de formato 30x20x15 e o escorregamento do varão na camisa inserida no tijolo de formato 30x20x11.

Nos registos apresentados na Figura 68 é possível associar e identificar estes fenómenos referidos. A diminuição da força de arranque que ocorre logo após a cedência deve-se ao início do escorregamento da camisa inserida no tijolo de formato 30x20x15 que ocorre devido ao facto do tijolo romper e consequentemente ceder.

Como já ocorria para os provetes isolados de tijolo novo também nos provetes isolados de tijolo velho é possível identificar uma zona dos registos F-d que correspondem ao escorregamento do varão na camisa, em que a força de arranque regista uma irregularidade de valores próximos do valor máximo, diminuindo abruptamente quando o varão se solta da camisa.

Na Figura 69 – a é possível observar o escorregamento do varão na camisa ao longo do ensaio, enquanto que na Figura 69 – b se comprova que no final do ensaio o varão se soltou da camisa inserida no tijolo de formato 30x20x11.

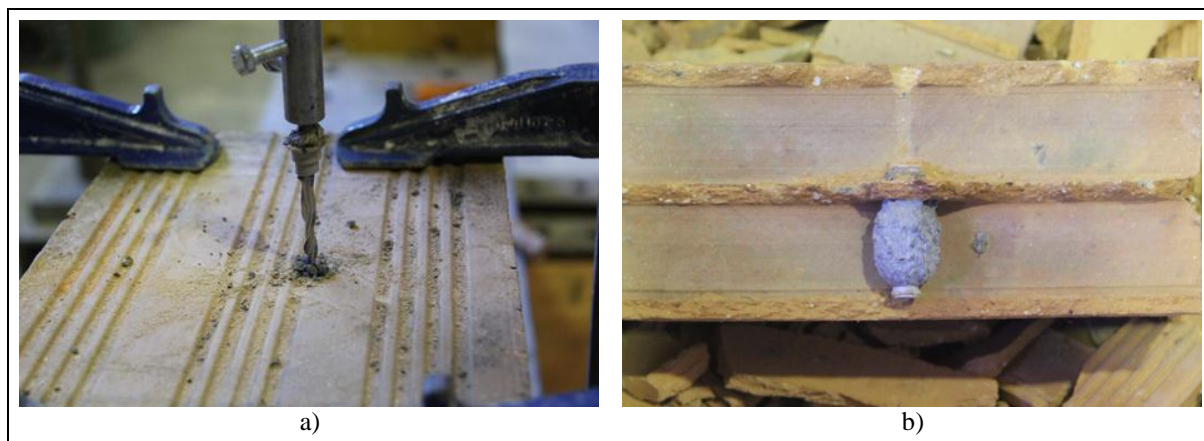


Figura 69 – Escorregamento do varão nas camisas: a) Observação durante o ensaio; b) Observação após o ensaio

Na sequência dos ensaios foi possível observar que algumas camisas se encontravam danificadas o que corrobora o facto de ter ocorrido escorregamento dos varões.

O registo do ensaio PV_09 apresenta um registo atípico, um pouco diferente dos restantes do grupo, visto que na altura em que se estava a verificar o escorregamento do varão ocorreu uma rotura frágil no tijolo de formato 30x20x11 levando a que a força de arranque sofre-se uma quebra, praticamente até zero. O aumento que se verifica depois, diz respeito provavelmente, ao facto da camisa inserida no tijolo de formato 30x20x15 ainda oferecer alguma resistência (atrito).

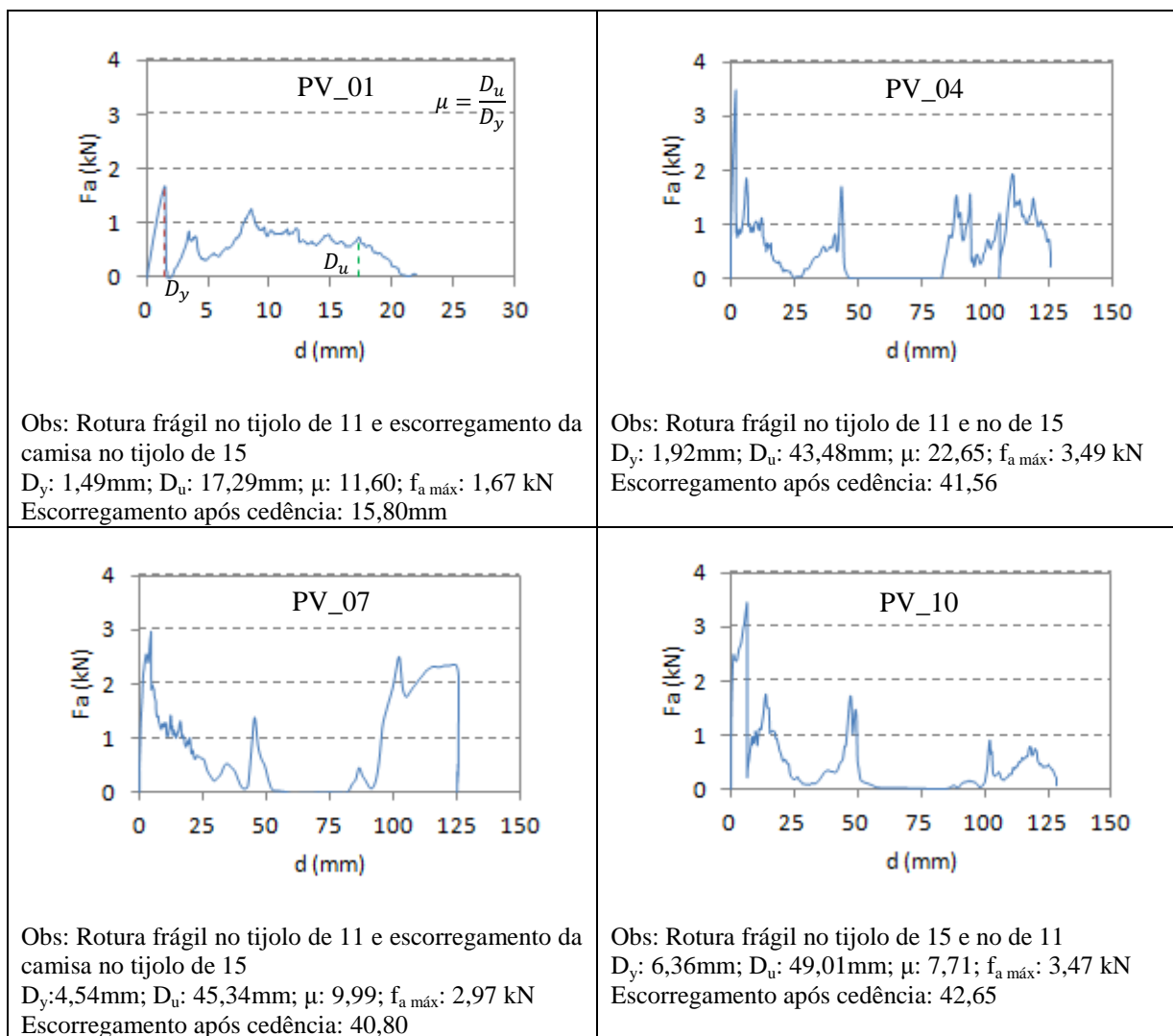


Figura 70 – Resultados dos provetes de tijolo velho – Grupo 2

Neste segundo grupo obteve-se, em média, um valor de 2,90 kN para a força de arranque e de 12,99 para a ductilidade. A primeira grande diferença que surge relativamente ao grupo anterior de provetes diz respeito à redução que a força sofre após ocorrer a cedência, que neste caso varia entre os 37 e os 94%.

Nestes provetes após se ter atingido o valor máximo da força de arranque ocorre uma quebra muito grande, levando por vezes a força quase até zero. Isto acontece pelo facto de ocorrer o desenfiamento da camisa, que surge quando um dos septos rompe. A subida da força de arranque volta a acontecer quando o bolbo encontra outro septo do tijolo ganhando novamente resistência todo o sistema.

Importa referir que assim que ocorre o primeiro desenfiamento, ou seja, assim que o primeiro septo rompe, apesar de se voltar a ganhar resistência no septo seguinte, a força de arranque já não atinge valores superiores ao máximo obtido anteriormente.

Este grupo caracteriza-se pela ocorrência de roturas frágeis (ver Figura 71) em todos os provetes e pelo facto no geral os bolbos apresentarem uma formação regular e sem defeitos aparentes, o que justifica também o facto de em nenhum provete ter ocorrido o escorregamento do varão dentro da respectiva camisa.



Figura 71 – Rotura Frágil: a) Rotura do tijolo de formato 30x20x11; b) Rotura do tijolo de formato 30x20x15

Na Tabela 28 apresenta-se uma síntese da informação relativa a cada grupo e a cada provete.

Tabela 28 – Síntese dos resultados obtidos para os provetes isolados de tijolo velho

	Proвете nº	Deslocamento cedência - D_y (mm)	Deslocamento rotura teórica - D_u (mm)	Ductilidade - μ	Escorregamento após cedência (mm)	Força de arranque máxima (kN)
Grupo 1	PV_02	1,65	42,02	25,47	40,37	3,10
	PV_03	1,54	26,67	17,32	25,13	2,05
	PV_05	2,02	32,72	16,20	30,70	2,64
	PV_06	3,45	37,18	10,78	33,73	3,36
	PV_08	3,29	30,25	9,19	26,96	2,58
	PV_09	6,82	26,42	3,87	19,60	3,67
	PV_11	3,63	36,12	9,95	32,49	3,36
	PV_12	3,40	31,05	9,13	27,65	2,68
Grupo2	PV_01	1,49	17,29	11,60	15,80	1,67
	PV_04	1,92	43,48	22,65	41,56	3,49
	PV_07	4,54	45,34	9,99	40,80	2,97
	PV_10	6,36	49,01	7,71	42,65	3,47

6.6. Controlo de qualidade das soluções

No âmbito do trabalho experimental foi importante o controlo de qualidade dos procedimentos e das técnicas utilizadas. Este foi executado de forma distinta nos provetes isolados e nos provetes-parede.

O controlo de qualidade na primeira campanha experimental consistia essencialmente em controlar a quantidade de *grout* que era injetada nas camisas de enchimento.

Sendo assim, nos provetes-parede o controlo que foi possível fazer, foi ao nível do número de apertos que se efetuava na pistola de injeção para encher cada camisa, uma vez que não era possível visualizar a camisa, sendo esta a única solução. Para se saber o número de apertos foi necessário ensaiar-se previamente num tijolo isolado onde era possível visualizar o enchimento da camisa de *grout*.

Quanto aos provetes isolados para além do controlo feito ao número de apertos na pistola de injeção, foi ainda possível verificar visualmente o estado de enchimento da camisa, e desta forma tentar averiguar que os bolbos de *grout* ficassem bem formados, em termos de dimensão e uniformidade.

Na segunda campanha experimental o controlo de qualidade efetuado nos provetes isolados foi o mesmo que tinha sido feito na primeira campanha, também de provetes isolados.

É ainda de realçar que durante a realização da segunda campanha foi possível detetar algumas deficiências que podem surgir nas camisas de enchimento, e que, podem desta forma condicionar o desempenho do sistema de grampeamento pós-construção *CemenTie* e conduzir a resultados menos fiáveis.

Na Figura 72 apresentam-se algumas das situações que foram possíveis identificar, assim como uma imagem ilustrativa.

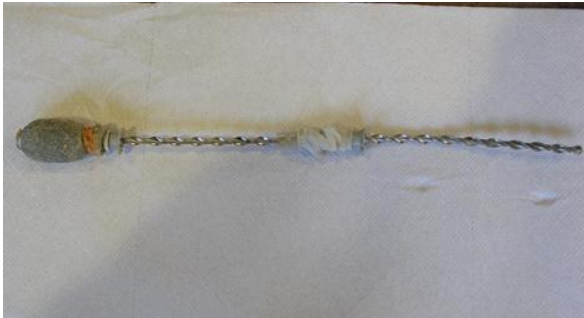



 <p>Incorreta colocação da camisa e como consequência surge a impossibilidade de enchimento com <i>grout</i>.</p>	 <p>Camisa furada e como consequência ocorre a saída de <i>grout</i> e desta forma não se forma um bolbo.</p>
 <p>Fissuração da camisa provocada pelo início do ensaio e consequente escorregamento do varão.</p>	 <p>Degradação da camisa e consequente má formação do bolbo de <i>grout</i>.</p>

Figura 72 – Deficiência das camisas de enchimento (observação após-ensaio)

Por outro lado, na Figura 73 está representado o que se desejava conseguir sempre em todos os provetes, ou seja, bolbos regulares e uniformes, quer para a camisa que fica inserida no tijolo de formato 30x20x11, quer para a camisa inserida no tijolo de formato 30x20x15.

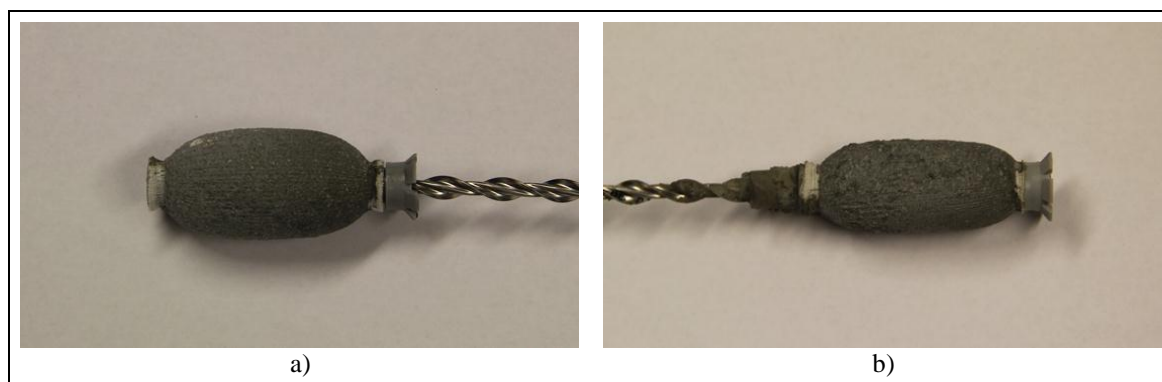


Figura 73 – Bolbos regulares e uniformes: a) Bolbo da camisa inserida no tijolo de formato 30x20x11; b) Bolbo da camisa inserida no tijolo de formato 30x20x15

No entanto, para além da importância que deve ser dada à questão da injeção do *grout*, pois condiciona fortemente a efectividade da solução, existem outros parâmetros a controlar, tais

como a constituição e preparação do *grout*, visto que este deve apresentar uma determinada fluidez para que possa ser injetado facilmente na camisa e respeitar o tempo de abertura do *grout*. Outro parâmetro importante que se deve controlar diz respeito à furação, mesmo parecendo uma tarefa fácil de executar é preciso ter alguns cuidados para facilitar as tarefas a realizar de seguida. É importante que a furação seja feita o mais perpendicular possível de forma a que a introdução das camisas se efetue sem grandes dificuldades e é igualmente importante controlar até que profundidade, isto é, até que septo se deve efetuar, uma vez que é necessário parar antes de se atingir o último septo do tijolo do pano interno, normalmente de formato 30x20x11 no caso de uma parede dupla 15(6)11.

A introdução das camisas também deve ser controlada, visto que é preciso ter um cuidado especial para que estas não se rompam ao passar nos vários septos, nem fiquem deformadas. É igualmente importante controlar o comprimento dos varões para que estes não ultrapassem o pano exterior para evitar o corte de algumas pontas posteriormente. Apenas será desejável deixar alguns mais compridos para efetuar os respectivos ensaios de controlo *pull-out*.

As condições de teor em humidade e a exposição solar das fachadas a reabilitar são aspectos a ter em atenção, uma vez que influencia a durabilidade das intervenções.

Seria igualmente desejável fazer provetes em estaleiro para pré-ensaiar a possível solução, visto que este tipo de sistema de grampeamento pós-construção pode ser aplicado em tijolos de diferente idade, tijolos de diferente furação horizontal, vertical, perfurados ou ainda maciços, pelo que seria importante testar a solução previamente para se ganhar sensibilidade e adaptar a técnica da melhor forma possível a cada tipo e geometria de tijolo.

Por último, e como não poderia deixar de ser, o controlo sobre o número de pontos de grampeamento por metro quadrado é fundamental, e que é condicionado pela grandeza da força de arranque obtida.

Capítulo 7

Conclusões

7 Conclusões

7.1. Síntese do trabalho realizado

7.2. Considerações finais

7.2.1. Ensaio e caracterização de materiais

7.2.2. Aplicação da técnica de grampeamento pós-construção

7.2.3. Resultados da primeira campanha de ensaios – *DRYFIX*

7.2.4. Resultados da primeira campanha de ensaios – *CEMENTIE*

7.2.5. Resultados da segunda campanha experimental

7.2.6. Controlo de qualidade

7.2.7. Comentário final

7.3. Propostas futuras de desenvolvimento

7. CONCLUSÕES

7.1. Síntese do trabalho realizado

Este trabalho desenvolveu-se em torno do tema “Soluções de Reabilitação – Grampeamento de Paredes de Alvenaria”. Por vezes, as alvenarias não são alvo de muitos cuidados quer na fase de conceção quer na fase de construção, o que acaba por conduzir ao aparecimento de problemas relacionados com a instabilidade dos panos de alvenaria e com fissuração, levando a que posteriormente sejam necessárias intervenções de reabilitação pouco intrusivas, mas duráveis. Nesse sentido procurou-se testar soluções de grampeamento pós-construção, mais concretamente a técnica *Dryfix* e *CementTie* da HELIFIX®, com o intuito de avaliar a eficiência de cada uma destas, assim como as dificuldades inerentes à sua aplicação e identificação de potencialidades de melhoria da eficiência das mesmas.

Para tal construíram-se provetes isolados e provetes-parede com recurso a tijolos novos e tijolos velhos com o objectivo de avaliar cada uma das técnicas.

7.2. Considerações finais

Decorrente de cada capítulo apresentaram-se e discutiram-se os resultados obtidos, os quais estão resumidos nos parágrafos seguintes. As conclusões apresentadas estão divididas por secções para proporcionar uma melhor compreensão e sistematização das ideias chave a reter sobre os vários assuntos abordados nesta dissertação.

7.2.1. Ensaio e caracterização de materiais

No sentido de se conhecer as características físicas e mecânicas do tijolo utilizado efectuou-se uma caracterização do mesmo, primeiro através de uma caracterização geométrica e posteriormente uma caracterização da resistência através de ensaios de compressão.

Relativamente à caracterização geométrica, verificou-se que os tijolos novos estavam em conformidade com a norma NP EN- 772 -1(CEN, 2002), por outro lado, os tijolos velhos apresentavam alguns resultados divergentes comparativamente com a norma.

No que diz respeito à resistência mecânica, através dos ensaios de compressão, verificou-se que tanto os tijolos novos como os tijolos velhos possuíam um valor de resistência à compressão superior a 1,5MPa, sendo este o valor mínimo declarado pelo fabricante PRECERAM NORTE®, entidade fornecedora dos tijolos novos. Importa ainda salientar que como era desconhecido o fabricante dos tijolos velhos, assumiu-se o mesmo critério de 1,5MPa.

7.2.2. Aplicação da técnica de grampeamento pós-construção

Na aplicação das técnicas de grampeamento pós-construção, mais concretamente, na técnica *CemenTie*, surgiram algumas dificuldades. A primeira dificuldade surgiu nos provetes isolados, uma vez que a aplicação do *grout* se fazia com a pistola de injeção na vertical, dificultando o controlo da introdução de *grout*. Por outro lado, nos provetes-parede a dificuldade surgiu em saber a quantidade de *grout* injetado em cada camisa, visto que era impossível visualizar se a camisa já estava totalmente cheia formando um bolbo adequado. Outra dificuldade que foi identificada ao longo da aplicação do sistema *CemenTie* foi no enchimento da camisa inserida no tijolo de formato 30x20x15 (pano exterior). Para que fosse possível ensaiar os provetes foi necessário deixar uma ponta de varão para fora do provete (3cm), o que em obra não é habitual acontecer. Desta forma complicou a injeção de *grout* na camisa devido à sua extensão adicional, sendo portanto necessário arranjar um adaptador para colocar na pistola de injeção por forma a que fosse possível colocar o *grout* no interior da camisa inserida no tijolo de formato 30x20x15.

7.2.3. Resultados da primeira campanha de ensaios - *DRYFIX*

Para a técnica de grampeamento pós-construção *Dryfix* os tijolos velhos apresentam comparativamente com os tijolos novos melhores resultados, sendo ainda importante referir que tanto para os tijolos novos como para os velhos, os tijolos de formato 30x20x15 apresentam melhores resultados do que os de formato 30x20x11. Como o princípio funcional desta técnica é dependente do atrito do varão helicoidal no tijolo comprovou-se que o tijolo de formato 30x20x15 possuía valores mais elevados para a força de arranque devido ao facto deste possuir mais septos proporcionando desta forma um maior atrito global e contacto com o varão.

Como seria de esperar nos provetes-parede obtiveram-se melhores resultados do que nos provetes isolados, tanto para os tijolos novos como para os velhos, no entanto, não é possível relacionar de forma linear a soma dos resultados dos provetes isolados com os do provete-parede, pois estes foram ensaiados de forma distinta. Contudo é importante efetuar este tipo de confronto de resultados, pois permite que em obra com um simples ensaio num provete isolado se possa ter uma ideia do valor expectável para a solução executada na parede.

Na tentativa de relacionar a qualidade do tijolo com os resultados obtidos para a força de arranque, verificou-se que os melhores resultados para a força de arranque ocorreram nos tijolos velhos, que eram os que possuíam maior resistência à compressão.

Nos provetes onde se aplicou a técnica *Dryfix* constatou-se que ocorria sempre rotura por escorregamento do varão no tijolo.

7.2.4. Resultados da primeira campanha de ensaios - *CEMENTIE*

Relativamente à técnica de grampeamento pós-construção *CemenTie* surgiram alguns resultados um pouco inesperados que se procuraram justificar e interpretar. O primeiro dos quais diz respeito ao facto de nos ensaios aos provetes isolados, os melhores resultados terem sido obtidos nos tijolos de formato 30x20x15, quando o esperado seria que os melhores resultados surgissem nos tijolos de formato 30x20x11, uma vez que é nestes tijolos que o bolbo de *grout* formado é tendencialmente maior, visto que a injeção nestas camisas é mais eficaz e o facto das mesmas serem fechadas, o que impede a saída do *grout* e proporciona uma maior pressão e consequente constituição do bolbo.

À semelhança do que se constatou na técnica *Dryfix*, também nesta técnica os resultados dos provetes-parede são superiores aos dos provetes isolados, tanto para os tijolos novos como para os velhos. Um aspeto importante de referir é que a diferença dos valores da força de arranque dos provetes-parede para os provetes isolados é maior na técnica *Dryfix* do que na técnica *CemenTie*.

Na tentativa de relacionar os resultados obtidos dos provetes ensaiados com esta técnica de grampeamento pós-construção com a qualidade do tijolo, isto é, resistência à compressão, verificou-se que os melhores resultados para a força de arranque não ocorriam nos tijolos de melhor qualidade (maior resistência à compressão), o que leva a concluir que para esta técnica

de grampeamento pós-construção a qualidade do tijolo pouco interfere nos resultados obtidos. Essa situação pode ser explicada pelo facto do varão estar inserido nas camisas de *grout*, não sendo exclusivamente dependente do desenvolvimento da força de atrito no momento do ensaio, como acontece na técnica *Dryfix*. Desta forma a resistência ao arranque não vai depender fortemente da qualidade do tijolo, mas sim da quantidade e qualidade do *grout* injetado, da correta aplicação do sistema e de uma correta formação dos bolbos de *grout*.

Nos provetes em que se aplicou a técnica *CemenTie* identificaram-se três tipos de rotura diferentes, rotura frágil, rotura por escorregamento do varão na camisa e rotura geral – escorregamento do sistema (camisa+varão) ao longo dos septos.

Sendo assim pode-se afirmar que a técnica de grampeamento pós-construção *CemenTie* é mais eficaz que a técnica *Dryfix* uma vez que apresenta melhores resultados para a força de arranque, no entanto ambas apresentam resultados compatíveis com a resistência mecânica pretendida.

7.2.5. Resultados da segunda campanha experimental de ensaios

Após estar concluída e analisada a primeira campanha, idealizou-se a realização de uma segunda campanha com o intuito de esclarecer algumas dúvidas que surgiram e complementar a informação obtida, mais concretamente, tentar compreender melhor os fenómenos de escorregamento (medição e registo do deslocamento) e o tipo de rotura que ocorre. Para se controlar o deslocamento, usou-se nesta campanha um actuador hidráulico para efetuar os ensaios de arranque, sendo ainda importante referir que foi necessário desenvolver uma peça de aço específica para que se pudesse fazer a ligação do actuador ao provete a ensaiar.

Esta campanha apenas foi idealizada para a técnica de grampeamento pós-construção *CemenTie*, uma vez que não se justificava a sua realização para a técnica *Dryfix*.

O primeiro aspeto positivo a realçar da realização desta segunda campanha diz respeito à possibilidade de se efetuar registos Força-Deslocamento para cada um dos provetes, através dos quais foi possível determinar alguns parâmetros, tais como a ductilidade, a força máxima obtida em cada provete, o escorregamento após cedência e ainda comprovar através destes os tipos de rotura observados durante os ensaios.

Tendo em conta os registos obtidos para cada um dos provetes foi possível catalogar, formando desta forma três grupos diferentes para os tijolos novos e dois grupos para os tijolos velhos.

Relativamente aos tijolos novos, os provetes do primeiro grupo apresentavam em média, um valor para a força de arranque de 2,70 kN e de 11,74 para a ductilidade, a rotura identificada nestes provetes foi sempre por escorregamento do varão nas camisas.

Para os provetes do segundo grupo obteve-se em média um valor de 1,90 kN para a força de arranque e 10,78 para a ductilidade. Este grupo caracteriza-se pela ocorrência do escorregamento das camisas nos septos dos tijolos.

Por último, os provetes do terceiro grupo apresentavam valores médios de 2,14 kN para a força de arranque e de 3,11 para a ductilidade. A rotura frágil é o tipo de rotura característico deste grupo e pode ser justificada pela baixa ductilidade dos tijolos.

Por sua vez, nos tijolos velhos, o primeiro grupo apresenta valores médios de 2,93 kN para a força de arranque e de 12,74 para a ductilidade. É frequente ocorrer nestes provetes o escorregamento da camisa no tijolo de formato 30x20x15 e o escorregamento do varão na camisa inserida no tijolo de formato 30x20x11.

A danificação das camisas, que se observou após a realização dos ensaios pode justificar o escorregamento do varão nas camisas inseridas no tijolo de formato 30x20x11.

O segundo grupo caracteriza-se por apresentar valores médios de 2,90 kN para a força de arranque e de 12,99 para a ductilidade. Em todos os provetes se verificou a ocorrência de roturas frágeis o que leva a concluir que os sistemas de grampeamento estavam bem aplicados, pois nestes casos foi o tijolo que fragilizou aquando da realização do ensaio.

7.2.6. Controlo de qualidade

Para terminar, importa referir alguns aspetos que são importantes controlar ao longo da execução e aplicação dos sistemas de grampeamento pós-construção, tais como o controlo da furação, o controlo da quantidade de *grout* injetado, da composição e preparação do *grout* (controlo da fluidez), o controlo do processo de introdução das camisas no furo, assim como o comprimento dos varões por forma a evitar posteriores cortes desnecessários que podem

fragilizar a ligação. É igualmente importante ter atenção às condições de teor em humidade das paredes, isto é, dos tijolos e exposição solar devido à susceptibilidade ao movimento por forma a não afetar a eficiência e durabilidade das técnicas, e por último deve-se efetuar ensaios prévios em estaleiro com material do mesmo tipo daquele onde se vai efetuar a intervenção, de modo ganhar sensibilidade na aplicação das técnicas nesse tipo de solução de parede em concreto.

7.2.7. Comentário final

Para terminar importa destacar as inúmeras vantagens apresentadas por estes dois sistemas de grampeamento pós-construção, tais como o facto de serem sistemas económicos e com baixos custos de instalação, apresentarem grande eficácia na reparação de edifícios de grande altura (por exemplo a técnica *Dryfix* apresenta uma resistência à tração adequada e é flexível, adaptando-se aos movimentos naturais do edifício). Podem ser aplicados em praticamente todos os materiais de construção (tijolos, blocos, betão e madeira), não deixam marcas e provocam pouca inconveniência para ocupantes dos edifícios objeto de reabilitação.

7.3. Propostas futuras de desenvolvimento

Neste subcapítulo faz-se referência a alguns aspectos a melhorar na aplicação destas técnicas e a propostas para futuros trabalhos relacionados com o tema.

No que diz respeito aos aspectos que devem ser melhorados na aplicação das técnicas de grampeamento pós-construção, nomeadamente na técnica *CemenTie* é importante referir que se deve tentar controlar de uma forma mais precisa a quantidade e pressão do *grout* injetado com acoplamento de uma escala ou equipamento acessório nas camisas, melhorar o formato da camisa inserida no tijolo de formato 30x20x15 de modo a garantir a formação de um bolbo sem perda de *grout*, assim como o modo de injeção de *grout* nessa camisa, procurando obter bolbos maiores e bem formados.

Quanto a futuros trabalhos que podem ser desenvolvidos é de destacar os seguintes:

- Desenvolver campanhas experimentais com um número mais elevado de ensaios por forma a que se possa efetuar um melhor e mais pormenorizado tratamento estatístico;
- Averiguar, tendo em conta a técnica usada, *Dryfix* ou *CemenTie*, num determinado processo de reabilitação, o número de pregagens a efetuar por metro quadrado;

- Verificar a influência da qualidade do *grout* nos ensaios de arranque;
- Reflexão e estudo do comportamento do sistema *CementTie* e posterior ensaio para avaliar a efectividade das propostas de melhoria;
- Desenvolver um Plano de Inspeção e Ensaios (PIE) para estas técnicas de grampeamento pós-construção.

Referências bibliográficas

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CEN. (1999). EN 1015-11: Methods of test for mortar for masonry - Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar.

CEN. (2002). NP - EN 772 - 1: Métodos de ensaio de blocos para alvenaria - Parte 1 - Determinação da resistência à compressão.

Coutinho, D. Instabilidade em paredes de alvenaria de tijolo. Aveiro. Apresentação no âmbito da disciplina de Patologia das Construções. Aveiro, 2011.

Dias, A. B. *Manual de Alvenaria de Tijolo*. CTCV. ISBN: 978-972-99478-5-8. Coimbra, 2009.

Gonçalves, A., Brito, J. De, & Branco, F. (2008). Causas de anomalias em paredes de alvenaria de edifícios recentes. Retrieved from <http://www.civil.uminho.pt/Revista/n31/Pag 5.pdf>

HELIFIX. (2008). Stress Free Structural Solutions.

Hendry, A., Sinha, B., & Davies, S. (1997). Design of masonry structures. Load bearing brickwork design. ISBN:9780419215608.

Pereira, M. F. P. (2005). *Anomalias em paredes de alvenaria sem função estrutural*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade do Minho. Retrieved from <http://hdl.handle.net/1822/2734>.

Silva, J Mendes. Alvenarias não Estruturais. Patologias e Estratégias de Reabilitação. Seminário sobre Paredes de Alvenaria. Editores: P.B. Lourenço e H. Sousa. Porto, 2002

Silva, J Mendes, & Abrantes, V. (2007). Patologias em Paredes de Alvenaria: Causas e Soluções. *Seminário sobre Paredes de Alvenaria*, 65–84. Editores: P.B. Lourenço *et al.* http://www.civil.uminho.pt/masonry/publications/alvenaria_2007/065_084.pdf.

Silva, J. A. R. M., Carvalhal, M. J. A. T., & Vicente, R. S. Reforço mecânico de alvenaria de tijolo: reabilitação de cunhais e grampeamento metálico pós-construção. (pp. 1329–1338). 3º Encontro de Conservação e Reabilitação de Edifícios, (3ºENCORE), LNEC, Lisboa, 2003.

Silva, José M., Abrantes, V., & Vicente, R. S. *Degradação precoce de paredes de fachada com correção exterior das pontes térmicas. Casos de estudo*, (pp. 665–672). Actas do Congresso Nacional da Construção, IST, Lisboa, 2001

Silva, José M., & Vicente, R. (2001). Damages and defects of masonry enclosure walls (enclosure wall instability and cracking due to correction of thermal bridges). In the 7th International Conference on Inspection, appraisal, repairs & maintenance of buildings & structures.

Sousa, H. Alvenaria em Portugal. Situação Atual e Perspectivas Futuras. Seminário sobre Paredes de Alvenaria. Editores: P.B. Lourenço e H. Sousa. Porto, 2002

Vicente, R. (2002). *Patologia das Paredes de Alvenaria. Estudo do comportamento mecânico das paredes de fachada com correcção exterior das pontes térmicas*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade de Coimbra.

Vicente, R. ., & Silva, J. A. R. . (2007). Defects of non-loadbearing masonry walls due to partial basal supports. *Construction and Building Materials*, 21(11), (pp.1977–1990). doi:10.1016/j.conbuildmat.2006.05.028

Vicente, R. S., & Silva, J. A. R. M. Estudo do comportamento mecânico das paredes de fachadas com correção exterior das pontes térmicas., (pp.1235–1244), 3º Encontro de Conservação e Reabilitação de Edifícios, (3ºENCORE), LNEC, Lisboa, 2003.